

**TUGAS AKHIR - RG141536**

# **STUDI KESESUAIAN PENGGUNAAN MODEL GEOID GLOBAL EGM 2008 UNTUK KEPERLUAN LOKAL DI KOTA SURABAYA**

**ENIRA SURYANINGSIH**  
NRP 3513100036

Dosen Pembimbing  
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**TUGAS AKHIR - RG141536**

# **STUDI KESESUAIAN PENGGUNAAN MODEL GEOID GLOBAL EGM 2008 UNTUK KEPERLUAN LOKAL DI KOTA SURABAYA**

**ENIRA SURYANINGSIH**  
**NRP 3513100036**

**Dosen Pembimbing**  
**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**UNDERGRADUATED THESIS - RG141536**

# **STUDY OF GLOBAL GEOID MODEL EGM 2008 CONFORMITY FOR LOCAL PURPOSE IN SURABAYA**

**ENIRA SURYANINGSIH**  
**NRP 3513100036**

**Supervisor**  
**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.**

**DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **STUDI KESESUAIAN PENGGUNAAN MODEL GEOID GLOBAL EGM 2008 UNTUK KEPERLUAN LOKAL DI KOTA SURABAYA**

**Nama** : Enira Suryaningsih  
**NRP** : 3513100036  
**Departemen** : Teknik Geomatika  
**Dosen Pembimbing**: Ira M. Anjasmara,S.T.,M.Phil.,Ph.D.

## **Abstrak**

*Model Geoid Global Earth Gravitational Model 2008 (EGM 2008) merupakan model geoid yang memiliki informasi anomali gayaberat free-air dengan grid 2.5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari airborne. Akan tetapi, untuk wilayah Indonesia kontribusi nilai gayaberat dari pengukuran lokal untuk EGM 2008 masih sangat kurang sehingga model geoid yang didapat dari EGM 2008 kurang merepresentasikan kondisi fisik secara lokal.*

*Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui tingkat kesesuaian penggunaan EGM 2008 untuk keperluan lokal di Kota Surabaya. Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan pengambilan data insitu di Kota Surabaya, kemudian diolah menjadi data anomali gayaberat free air. Data anomali free air dari EGM dan pengukuran di plotting menggunakan aplikasi Generic Mapping Tools (GMT), sehingga keduanya dapat dibandingkan dan dianalisis.*

*Berdasarkan pengolahan dan analisis data pengukuran didapatkan bahwa nilai gayaberat di Kota Surabaya berkisar antara 978093.737 mGal hingga 978115.846 mGal, dengan anomali gayaberat free air berkisar antara -25 mGal hingga 20 mGal. Selisih data EGM dan data insitu mempunyai nilai antara 0-21 mGal. Berdasarkan pengolahan data dan analisis selisih*

*anomali free air data insitu dan data EGM 2008 maka EGM 2008 cukup sesuai dengan rata-rata selisih 5.726 mGal sehingga presentase kesesuaiannya sebesar 66.67%. Setelah dilakukan gridding yang sama antara EGM 2008 dan data insitu didapatkan nilai rata-rata selisih 10.350 mGal dan presentase data yang sesuai adalah 64.10%.*

***Kata kunci : Data Insitu, EGM 2008, Anomali Gayabarat Free Air, Kesesuaian***



# **STUDY OF GLOBAL GEOID MODEL EGM 2008 CONFORMITY FOR LOCAL PURPOSE IN SURABAYA**

**Name** : Enira Suryaningsih  
**NRP** : 3513100036  
**Departement** : Teknik Geomatika  
**Supervisor** : Ira M. Anjasmara,S.T.,M.Phil.,Ph.D.

## **Abstract**

*Global Geoid Model EGM (Earth Gravitational Model) 2008 is a geoid model with free-air gravity anomaly in 2.5-minute grid. The grid is formed from a combination of terrestrial data, altimetry satellite and airborne gravity. However, the contribution of local gravity measurement in Indonesia is low so EGM 2008 can not represent the local physical condition.*

*The purpose of this research is to find out conformity level of EGM 2008 for local purpose in Surabaya. In this research local measurement was done to get the insitu data in Surabaya, then processed into free air anomaly gravity. Then the free air anomaly gravity from local measurement and EGM 2008 is plotted by Generic Mapping Tool (GMT), so they could be compared and analyzed.*

*Based on the data processing and analysis of local measurement the gravity value in Surabaya is 978093.737 mGal up to 978115.846 mGal, with free air gravity anomaly -25 mGal to 20 mGal. The difference of EGM and insitu data is 0-21 mGal. So the conformity of EGM 2008 is good enough with the value of mean difference is 5.726 and precentage of the conformity data for all point measurement is 66.67%. Then, in the same of gridding processing both of data have mean difference 10.350 and the precentage of the suitable gravity data is 64.10%.*

***Kata kunci : Insitu Data, EGM 2008, Free Air Gravity Anomaly, Conformity***

**STUDI KESESUAIAN PENGGUNAAN MODEL GEOID  
GLOBAL EGM 2008 UNTUK KEPERLUAN LOKAL DI  
KOTA SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Oleh:

**ENIRA SURYANINGSIH**  
NRP. 3513100036

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M. Phil, Ph.D.  
NIP. 19781231 200212 2 001



**SURABAYA, JULI 2017**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas segala limpahan Rahmat, Hidayah dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul *“Studi Kesesuaian Penggunaan Model Geoid Global EGM 2008 untuk Keperluan Lokal di Kota Surabaya ”* ini dengan baik.

Selama pelaksanaan tugas akhir ini banyak pihak yang telah membantu penulis sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua atas doa dan restu serta semua dukungan yang diberikan selama kuliah.
2. Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika FTSP ITS Surabaya.
3. Yanto Budisusanto, S.T., M.T., selaku Kaprodi S-1 Teknik Geomatika FTSP ITS Surabaya.
4. Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. selaku dosen pembimbing dalam penelitian tugas akhir ini.
5. Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya beserta para laborannya yang telah meminjamkan gravimeter pada pengukuran tugas akhir ini.
6. Laboratorium Geodesy dan Surveying beserta laboran serta Geosolution yang telah meminjamkan peralatan GPS pada pengukuran tugas akhir ini.
7. Chandra Widipermana, Rega Yoze Oktavian selaku partner dalam pengerjaan tugas akhir ini, serta teman-teman angkatan 2013 dan 2014 yang membantu pengukuran dalam tugas akhir ini.

8. Rani Fitri Febrianti, Nurul Tazaroh serta Cristian Febrianto teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir yang selalu sabar dan memberi semangat kepada Penulis.
9. Teman-teman satu angkatan serta adik tingkat di Teknik Geomatika yang juga memberi semangat.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat Penulis harapkan untuk perbaikan laporan ini kedepannya.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih atas semua kesempatan yang telah diberikan kepada penulis, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Medan Gayaberat Bumi.....	5
2.2 Pengukuran Gayaberat .....	9
2.3 Gravimeter Lacoste&Romberg .....	11
2.4 Koreksi Pengukuran Gayaberat.....	14
2.5 Reduksi Gayaberat <i>Free Air</i> .....	15
2.6 Pengukuran GPS ( <i>Global Positioning System</i> ) .....	17
2.7 Model Geoid Global EGM 2008 .....	18
2.8 Uji Statistika .....	19
2.9 Penelitian Sebelumnya .....	20
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	23
3.1 Lokasi Penelitian.....	23
3.2 Peralatan dan Data.....	24
3.3 Metodologi Penelitian .....	26
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	33
4.1 Hasil Pengolahan Data Primer .....	33
4.2 Hasil Pengolahan Data Sekunder .....	42

4.3 Hasil Penyajian Data di GMT .....	44
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geoid dan Ellipsoid Referensi.....	7
Gambar 2. 2 Metode Pendulum.....	10
Gambar 2. 3 Gravimeter Relatif Bagian Dalam .....	11
Gambar 2. 4 Skema dari Gravimeter Lacoste&Romberg.....	12
Gambar 2. 5 Reduksi Gayaberat.....	16
Gambar 3. 1 Peta Kota Surabaya.....	23
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pelaksanaan Tugas Akhir.....	27
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data.....	30
Gambar 4. 1 Posisi Stasiun SBY015 .....	36
Gambar 4. 2 Posisi Stasiun BM19.....	36
Gambar 4. 3 Grafik <i>Drift Correction</i> .....	39
Gambar 4. 4 Anomali <i>Free Air</i> Hasil Pengukuran 2017 .....	42
Gambar 4. 5 Anomali <i>Free Air</i> Hasil Pengukuran 2016 .....	43
Gambar 4. 6 Anomali <i>Free Air</i> EGM 2008.....	44
Gambar 4. 7 Anomali <i>Free Air</i> Hasil Pengukuran 2016&2017 ..	45
Gambar 4. 8 Selisih Anomali <i>Free Air</i> EGM dan Data Insitu ....	50
Gambar 4. 9 Perbandingan Anomali <i>Free Air</i> dan Kontur.....	52

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Stasiun Referensi Gayaberat BMKG .....	26
Tabel 4. 1 Koordinat Titik Pengukuran.....	33
Tabel 4. 2 Tinggi Ortometrik Tanah .....	34
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Gayaberat Relatif .....	35
Tabel 4. 4 Konversi Bacaan Alat.....	37
Tabel 4. 5 Perhitungan Koreksi Apungan .....	38
Tabel 4. 6 Perhitungan Gayaberat Relatif Terkoreksi .....	40
Tabel 4. 7 Perhitungan Reduksi Udara Bebas .....	41
Tabel 4. 8 Perbandingan Anomali <i>Free Air</i> 2016 dan 2017.....	45
Tabel 4. 9 Selisih Anomali <i>Free Air</i> Data Insitu dan EGM 200847	
Tabel 4. 10 Kesesuaian Titik Pengukuran.....	48

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR FORMULA

Gaya gravitasi Newton .....	5
Konstanta gravitasi Newton .....	5
Gaya gravitasi.....	5
Potensial gravitasi .....	6
Komponen X,Y,Z.....	6
Notasi vektor .....	6
Formula Poisson.....	7
Potensial gayaberat.....	7
Anomali gayaberat .....	7
Gayaberat normal .....	8
Deret Taylor .....	8
Persamaan ayunan pendulum .....	9
Persamaan massa metode jatuh bebas .....	10
Persamaan jarak metode jatuh bebas.....	10
Konversi bacaan alat .....	14
Koreksi apungan.....	14
Gayaberat relatif terkoreksi .....	14
Gayaberat pengamatan .....	15
<i>Taylor Expansion</i> .....	15
Reduksi <i>free air</i> .....	16
Anomali <i>free air</i> .....	17
Rata-rata .....	19
Standar Deviasi .....	19

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR SIMBOL

$N$	: undulasi Geoid
$\xi$	: defleksi vertikal
$F$	: gaya gravitasi
$m$	: massa suatu benda
$l$	: jarak suatu benda
$G$	: konstanta gravitasi Newton
$V$	: potensial gravitasi
$\Delta V$	: turunan pertama potensial gravitasi
$\rho$	: nilai densitas
$\Delta g$	: anomali gayaberat
$g$	: nilai gayaberat di titik tertentu
$\gamma$	: nilai gayaberat normal di titik tertentu
$a$	: sumbu panjang ellipsoid
$b$	: sumbu pendek ellipsoid
$\varphi$	: lintang titik (derajat)
$f$	: pengepengan ellipsoid
$h$	: tinggi ellipsoid (m)
$\omega$	: percepatan sudut bumi
$GM$	: konstanta gravitasi geosentrik bumi
$DC$	: koreksi apungan pada titik acuan pengamatan
$t$	: waktu
$H$	: tinggi geoid/tinggi ortometrik
$\delta g^F$	: reduksi <i>free air</i>
$\Delta g^F$	: anomali <i>free air</i>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Tabel Konversi Bacaan Gravimeter
- Lampiran 2. Data Anomali *Free Air* EGM 2008
- Lampiran 3. Data Pengukuran Tahun 2016
- Lampiran 4. Data Selisih Anomali
- Lampiran 5. Form Pengukuran Gayabarat Relatif
- Lampiran 6. Dokumentasi Pengukuran Gravimeter
- Lampiran 7. Contoh Form Pengukuran GPS
- Lampiran 8. Pengolahan Data GPS
- Lampiran 9. Peta Anomali Gayabarat *Free Air* Kota Surabaya

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan teknologi survei dan pemetaan yang memiliki peran penting saat ini. Teknologi GNSS dapat digunakan untuk menentukan posisi tiga dimensi dengan beracuan pada ellipsoid global yaitu *World Geodetic System* 1984 (WGS 84). Ellipsoid merupakan model matematis bumi (Anjasmara, 2005) yang digunakan untuk mempermudah perhitungan matematis bumi. Informasi tinggi yang dihasilkan dari pengukuran tersebut disebut tinggi normal atau tinggi ellipsoid. Sehingga, informasi tinggi tersebut tidak dapat dijadikan sebagai acuan informasi tinggi. Informasi tinggi yang dibutuhkan seharusnya beracuan pada geoid atau biasa disebut tinggi ortometrik.

Geoid merupakan model fisik bumi yaitu model bumi yang paling mendekati bentuk bumi yang sebenarnya. Model fisik bumi tersebut diasumsikan sama atau berhimpit dengan tinggi muka laut rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*) pada kondisi laut yang tenang (Anjasmara, 2005). Penentuan geoid adalah penentuan penyimpangan geoid atau undulasi geoid ( $N$ ) dan defleksi vertikal ( $\xi$ ) terhadap elipsoid referensi. Nilai undulasi geoid tidak pernah sama di setiap tempat, hal tersebut disebabkan ketidakseragaman sebaran densitas bumi. Nilai undulasi geoid tersebut yang digunakan untuk memodelkan bentuk geoid yang sebenarnya (Rakapuri, 2016).

Pemodelan potensial gravitasi bumi yang akurat secara global dan resolusi tinggi merupakan hal yang mendasar dalam bidang geodesi, geofisika, oseanografi dan berbagai aplikasinya (Zhongolovich, 1952 dalam Pavlis, 2012). Hingga saat ini sudah banyak terdapat model geoid global, salah satunya adalah EGM 2008 (*Earth Gravitational Model 2008*). Model Geoid Global EGM 2008 merupakan model geoid yang didapatkan dari informasi anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2.5 menit. Grid

tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari *airborne*.

Informasi tinggi ortometrik dapat diturunkan dari data model geoid global, sehingga suatu model geoid global dapat dijadikan sebagai acuan dalam penentuan informasi tinggi. Akan tetapi, pengukuran gayaberat di Indonesia masih jarang dilakukan hingga saat ini dan kontribusi nilai gayaberat untuk EGM 2008 di Indonesia kurang. Sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui kesesuaian EGM 2008 sebagai acuan informasi geoid untuk Indonesia khususnya di Kota Surabaya. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan melakukan evaluasi terhadap kesesuaian model geoid global EGM 2008 di Kota Surabaya dengan menggunakan pengukuran anomali gayaberat relatif.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu.

- a. Bagaimana nilai anomali gayaberat *free air* di Kota Surabaya dari hasil pengukuran?
- b. Bagaimana penerapan model geoid global EGM 2008 khususnya anomali gayaberat *free air* di Kota Surabaya?
- c. Bagaimana kesesuaian model geoid global EGM 2008 terhadap hasil pengukuran gayaberat relatif di Kota Surabaya?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu.

- a. Wilayah penelitian adalah di Kota Surabaya.
- b. Metode pengukuran gayaberat yang digunakan adalah metode pengukuran gayaberat relatif.
- c. Data gayaberat yang digunakan adalah anomali gayaberat *free air*.

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dalam tugas akhir ini yaitu.

- a. Mengetahui anomali gayaberat *free air* hasil pengukuran gayaberat relatif di sekitar Kota Surabaya.
- b. Mengetahui anomali gayaberat *free air* di Kota Surabaya berdasarkan model geoid global EGM 2008.
- c. Mengetahui kesesuaian EGM 2008 berdasarkan anomali gayaberat *free air* hasil pengukuran.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari pelaksanaan tugas ini yaitu.

- a. Terdapat peta gayaberat *free air* yang sesuai dengan pengukuran insitu di Kota Surabaya.
- b. Diketahuinya kesesuaian EGM 2008 untuk keperluan lokal di Kota Surabaya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Medan Gayaberat Bumi

##### 2.1.1 Gaya Gravitasi

Menurut hukum gravitasi Newton, dua titik dengan massa  $m_1$ ,  $m_2$  dipisahkan dengan jarak  $l$  akan saling menarik dengan gaya

$$F = G \frac{m_1 m_2}{l^2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$F$  : gaya gravitasi (N)

$m_1, m_2$  : massa suatu benda (kg)

$l$  : jarak antara kedua benda (m)

Gaya tersebut dihubungkan langsung oleh garis yang menghubungkan dua titik;  $G$  merupakan konstanta gravitasi Newton dengan nilai

$$G = 6.6742 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2} \quad (2.2)$$

Walaupun massa  $m_1$  dan  $m_2$  saling menarik secara simetris, tapi lebih mudah jika salah satu dikatakan sebagai massa yang menarik sedangkan yang lainnya massa yang tertarik. Oleh karena itu formula 2.1 dapat disederhanakan menjadi

$$F = G \frac{m}{l^2} \quad (2.3)$$

Formula tersebut menyatakan gaya yang digunakan oleh massa  $m$  untuk menarik suatu massa lain dengan jarak sejauh  $l$  dari posisi  $m$  (Hoffman, 2005).

### 2.1.2 Potensial Gravitasi

Potensial gravitasi merupakan fungsi skalar yaitu

$$V = \frac{Gm}{l} \quad (2.4)$$

Dimana,

- $V$  : potensial gravitasi ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ )  
 $G$  : konstanta gravitasi Newton ( $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ )  
 $m$  : massa benda (kg)  
 $l$  : jarak benda (m)

Komponen  $X, Y, Z$  dari gaya gravitasi  $F$  diketahui sebagai berikut

$$X = \frac{\partial V}{\partial x}, \quad Y = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial V}{\partial z} \quad (2.5)$$

Sehingga dalam notasi vektor menjadi,

$$F = [X, Y, Z] = \text{grad } V \quad (2.6)$$

Potensial  $V$  bernilai kontinyu di seluruh permukaan dan lenyap pada tak terhingga seperti  $1/l$  untuk  $l \rightarrow \infty$ . Hal tersebut dapat dilihat dari fakta bahwa untuk jarak yang sangat jauh suatu massa didekati sebagai titik massa sehingga gaya tarik dapat didekati menggunakan formula 2.4. Turunan pertama dari  $V$  komponen gayanya juga kontinyu di seluruh permukaan tapi tidak pada turunan keduanya. Pada suatu titik yang densitasnya berubah secara diskontinyu maka nilainya juga bersifat diskontinyu. Bukti tersebut dapat dilihat menggunakan formula Poisson (Hofmann, 2005).

$$\Delta V = -4\pi G\rho \quad (2.7)$$

Keterangan:

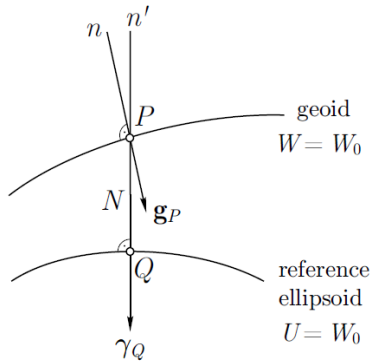
- $\Delta V$  : Turunan pertama potensial gravitasi  
 $G$  : konstanta gravitasi Newton ( $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ )  
 $\rho$  : nilai densitas ( $\text{kg m}^{-3}$ )



### 2.1.3 Anomali Gayaberat

Perbedaan kecil diantara potensial gayaberat sebenarnya  $W$  dan potensial gayaberat normal  $U$  dinyatakan sebagai  $T$ , sehingga

$$W(x, y, z) = U(x, y, z) + T(x, y, z) \quad (2.8)$$



Gambar 2. 1 Geoid dan Ellipsoid Referensi  
(Sumber : Hoffman, 2005)

$T$  disebut sebagai anomali potensial atau gangguan potensial. Jika dibandingkan geoid dan ellipsoid referensi dengan potensial yang sama  $U_0 = W_0$ . Titik P pada geoid diproyeksikan pada titik Q pada ellipsoid seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Jarak  $PQ$  antara geoid dan ellipsoid disebut tinggi geoid atau undulasi geoid dan dinotasikan sebagai  $N$ .

Mempertimbangkan vektor gayaberat  $g$  pada  $P$  dan vektor gayaberat normal  $\gamma$  pada  $Q$ , maka vektor anomali gayaberat  $\Delta g$  didefinisikan sebagai perbedaan keduanya

$$\Delta g = g_P - \gamma_Q \quad (2.9)$$

Perbedaan besaran antara keduanya disebut anomali gayaberat. Perbedaan arah antara keduanya disebut defleksi vertikal.

#### 2.1.4 Gayaberat Normal

Untuk mengetahui nilai gayaberat normal yang terletak pada ellipsoid normal, maka digunakan formula Somigliana (Hoffman, 2005).

$$\gamma_{(\varphi)} = \frac{a\gamma_a \cos^2 \varphi + b\gamma_b \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2.10)$$

Dimana

- $\varphi$  : lintang titik (derajat)
- $a$  : sumbu panjang ellipsoid (m)
- $b$  : sumbu pendek ellipsoid (m)
- $\gamma_a$  : gayaberat normal di ekuator (mGal)  
 $\gamma_a$  WGS 84 = 9780325,3359 mGal
- $\gamma_b$  : gayaberat normal di kutub (mGal),  
 $\gamma_b$  WGS 84 = 9832184,9378 mGal

Untuk mengetahui hubungannya dengan tinggi ellipsoid maka digunakan deret Taylor sebagai berikut (Hoffman, 2005).

$$\gamma_{(h)} = \gamma_{(\varphi)} \left[ 1 - 2(1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{h}{a} + 3 \frac{h^2}{a^2} \right] \quad (2.11)$$

$$m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM} \quad (2.12)$$

Dimana,

- $\gamma_{(h)}$  : gayaberat normal pada lintang  $\varphi$  dan tinggi  $h$  (mGal)
- $\gamma_{(\varphi)}$  : gayaberat normal pada lintang  $\varphi$  (mGal)
- $\varphi$  : lintang titik (derajat)
- $f$  : pengepengan ellipsoid
- $m$  : perbandingan percepatan sentrifugal dan gravitasi pada ekuator
- $h$  : tinggi ellipsoid (m)
- $a$  : sumbu panjang ellipsoid (m)
- $b$  : sumbu pendek ellipsoid (m)
- $\omega$  : percepatan sudut bumi,  
 $\omega$  WGS 84 =  $7292115 \times 10^{-11}$  rad/s
- $GM$  : konstanta gravitasi geosentrik bumi

$$GM \text{ WGS } 84 = 3986004,418 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

## 2.2 Pengukuran Gayaberat

Pengukuran gayaberat dibagi menjadi dua yaitu pengukuran gayaberat absolut dan pengukuran gayaberat relatif. Pengukuran tersebut dapat dilakukan di darat maupun di laut menggunakan pesawat bahkan satelit.

### 2.2.1 Pengukuran Absolut

Penentuan gayaberat absolut merujuk pada suatu titik dimana akurasi pengukuran jarak dan waktu digunakan untuk menentukan nilai  $g$ . Terdapat dua metode pengukuran yaitu

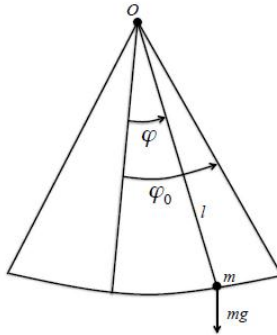
#### a. Metode Pendulum

Menurut sejarah, pengukuran gayaberat absolut telah dilakukan menggunakan pengamatan pendulum, tetapi masalah yang dihadapi yaitu adanya tarikan atmosfer dan akurasi penentuan panjang dari pendulum. Metode pendulum sudah jarang digunakan saat ini. Ayunan pendulum secara bebas dengan panjang  $l$  dan massa  $M$  akan memenuhi formula 2.13 dan ditunjukkan pada gambar 2.2.

$$Ml \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + Mg \sin \varphi = 0 \quad (2.13)$$

Keterangan :

$M$	: massa pendulum (kg)
$l$	: panjang tali (m)
$g$	: percepatan gravitasi/gayaberat ( $\text{m/s}^2$ )
$\varphi$	: sudut fase



Gambar 2. 2 Metode Pendulum  
(Sumber : Torge, 2001)

b. Metode Jatuh Bebas

Pada metode jatuh bebas, benda jatuh dengan massa  $m$  akan sesuai dengan formula 2.14.

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + mg = 0 \quad (2.14)$$

Keterangan :

$m$  : massa benda (kg)

$g$  : gayaberat

Sesungguhnya  $g$  merupakan fungsi dari  $z$  yaitu jarak vertikal yang ditempuh. Akan tetapi, pada jarak tertentu,  $g$  dianggap konstan sehingga didapatkan formula 2.15.

$$z = z_0 + \dot{z}_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.15)$$

Keterangan:

$z$  : jarak vertikal yang ditempuh (m)

$z_0$  : posisi awal

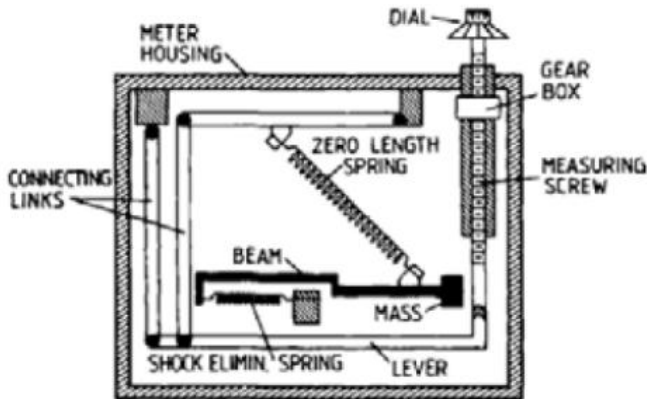
$\dot{z}_0$  : kecepatan awal (m/s)

$g$  : gayaberat

$t$  : waktu yang dibutuhkan (s)

### 2.2.2 Pengukuran Relatif

Pengukuran gayaberat relatif mengukur besar medan gayaberat bergantung pada satuan meter daripada  $m/s^2$  pada pengukuran gayaberat absolut. Oleh karena itu, pengukuran relatif harus diikatkan pada stasiun acuan gayaberat dimana nilai gayaberat absolut diketahui. Gayaberat relatif cepat dan sederhana untuk dilakukan menggunakan alatnya, dan perbedaan gayaberat yang diukur memiliki akurasi sekitar  $10 \mu\text{Gal}$ . Gravimeter relatif diklasifikasikan menjadi gravimeter statik dan gravimeter astatik bergantung pada konstruksinya.



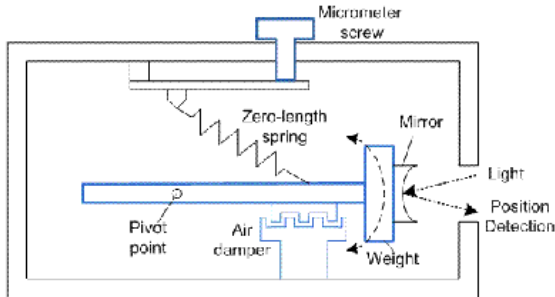
Gambar 2. 3 Gravimeter Relatif Bagian Dalam  
(Sumber : Torge, 2001)

### 2.3 Gravimeter Lacoste&Romberg

Peralatan utama dari metode gayaberat adalah gravimeter Lacoste&Romberg. Gravimeter ini terdiri dari dua model, yaitu model G dan model D.

- a. Model G mempunyai jangkauan skala yang lebih lebar, sekitar 7000 skala setara dengan 7000 mGal, sehingga dalam pengoperasiannya tidak perlu diset ulang.
- b. Model D mempunyai ketelitian satu orde lebih tinggi dari model G, tetapi jangkauan skala hanya sekitar 2000 mGal. Hal ini berarti jika digunakan pada pengukuran yang mempunyai

- c. Variasi medan gravitasi lebih dari 200 mGal, gravimeter perlu diset ulang ada salah satu titik amat di lapangan.



Gambar 2. 4 Skema dari Gravimeter Lacoste&Romberg  
(Sumber : Maryanto, 2016)

### 2.3.1 Skema Gravimeter

Skema gravimeter pada gambar 2.4 dilengkapi dengan komponen-komponen yang teridri dari,

- Skrup pemutar (*measuring crew*) yang digunakan untuk melakukan pencocokan nilai yang diperoleh pada saat dilakukan pengukuran, dimana nilai gravitasi terukur apabila petunjuk galvanometer menunjukkan nilai nol (jarum terletak di tengah)
- Zero length spring*, pegas yang mempunyai kemampuan dapat kembali pada posisi nol apabila pengukuran telah selesai yang merupakan suatu kelebihan pada instrumen Lacoste&Romberg. Pegas tersebut dapat diamati melalui kalibrasi dan perataan artinya untuk melihat perubahan nilai yang terjadi pada tempat yang tetap dan dianggap stabil.
- Untuk menahan guncangan dilengkapi dengan *Shock Elimating Spring* atau pegas penghilang guncangan yang terletak pada beam (tongkat) dihubungkan dengan pegas.
- Meter Box* atau tempat instrumen biasanya dilengkapi dengan komponen pendukung lain yang dapat menghindari guncangan misalnya kapas atau busa. *Meter Box* terbuat dari logam anti karat, jika dilakukan survei dilaut tidak terjadi karat.

- e. *Weigth* (beban) mempunyai ukuran standar pabrik yang dihubungkan dengan beam (tongkat) dan terletak di ujungnya.
- f. Sebagai penahan untuk beam terletak pada *Lever*.

### 2.3.2 Cara Kerja

Pembacaan nilai gravimeter dimulai dengan meletakkan gravimeter di atas piringan. Kemudian atur *level bubbles* menuju posisi setimbang dengan menggunakan *level screws*. Setelah posisi gravimeter rata, putar *locking knob* berlawanan arah jarum jam untuk membuka kunci pegas. Setelah itu nyalakan lampu *reading & level*. Kemudian melalui *microscope eyepiece* perhatikan *crosshair* pada skala *reading line* untuk digerakan menuju nilai *reading line* alat yaitu 2,8. *Nulling dial* digunakan untuk menggerakkan *counter* dengan mengacu *crosshair reading line* tepat di atas 2,8. Jika nilai *reading line* sudah tepat di 2,8 maka pemutaran *nulling dial* dapat dihentikan dan dicatat nilai *counter*. Dua angka dibelakang koma dari nilai *counter* ditunjukkan oleh angka yang berhimpitan dengan jarum *nulling dial*. Dalam setiap pengambilan data, selalu periksa kondisi tegak gravimeter dengan melihat kedua posisi *level bubbles*. Apabila *level bubbles* tidak berada di tengah, maka atur posisinya hingga mencapai seimbang.

Setelah selesai melakukan pembacaan dan pencatatan nilai *counter* lampu gravimeter dimatikan dan posisi *locking knob* dikembalikan ke posisi *off* (Maryanto, 2016).

### 2.3.3 Akuisisi Data

Akuisisi data metode gayaberat, secara umum terdapat dua konfigurasi yaitu konfigurasi random dan grid. Konfigurasi akuisisi random yaitu dengan datum point diposisikan secara acak dengan spasi variatif, biasanya digunakan untuk area topografi yang bervariasi. Konfigurasi grid adalah konfigurasi titik datum pengukuran yang dibentuk dari perpotongan garis lintasan dengan spasi yang teratur (Maryanto, 2016).

### 2.3.4 Konversi Pembacaan Alat

Nilai pembacaan gravimeter pada saat pengambilan data di lapangan perlu dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan miligal sebelum diolah untuk mendapatkan nilai anomalnya. Proses konversi nilai menggunakan tabel konversi yang telah tersedia. Pada tahap pengolahan data perlu dilakukan terlebih dahulu konversi nilai pembacaan ke dalam satuan miligal. Perumusan yang digunakan dalam melakukan konversi adalah (Maryanto, 2016):

$$g_{rel} = \{(bacaan-counter) \times faktor\ interval\} + value\ in\ mGal \quad (2.16)$$

Keterangan :

$g_{rel}$  : hasil konversi bacaan (mGal)

$bacaan$  : hasil bacaan alat dari pengukuran (mGal)

$counter$  : nilai dari tabel konversi (mGal)

$factor\ interval$ : faktor pengali yang didapatkan dari tabel konversi

$value\ in\ mGal$ : nilai bacaan didapatkan dari tabel konversi (mGal)

Tabel konversi dapat dilihat pada lampiran 1.

## 2.4 Koreksi Pengukuran Gayaberat

### 2.4.1 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perubahan kondisi alat (gravimeter) terhadap nilai pembacaan. Koreksi apungan muncul karena gravimeter selama digunakan untuk melakukan pengukuran akan mengalami guncangan, sehingga akan menyebabkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat tersebut. Koreksi ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan metode *looping*, yaitu dengan pembacaan ulang pada titik ikat (*base station*) dalam satu kali *looping*, sehingga nilai penyimpangannya diketahui. Besarnya koreksi apungan dirumuskan sebagai berikut (Osazuwa, 1988).

$$DE = \frac{g'_A - g_A}{t'_A - t_A} (t_n - t_A), \quad DC = -DE \quad (2.17)$$



Dengan,

- $DE$  = kesalahan apungan pada titik acuan pengamatan  
 $DC$  = Koreksi apungan pada titik acuan pengamatan  
 $g_A$  = harga gravitasi di titik acuan pada waktu  $t_A$  (mGal)  
 $g_A'$  = harga gravitasi di titik acuan pada waktu  $t_A'$  (mGal)  
 $t_A$  = waktu pengamatan di titik acuan saat awal  
 $t_A'$  = waktu pengamatan di titik acuan saat penutupan *loop*  
 $t_n$  = waktu pengamatan di titik pengamatan

#### 2.4.2 Gayaberat Relatif Terkoreksi

Gayaberat relatif terkoreksi merupakan nilai gayaberat relatif yang telah ditambahkan dengan nilai koreksi apungan dengan formula 2.18.

$$g_{rel_{koreksi}} = g_{rel} + DC \quad (2.18)$$

Keterangan:

$g_{rel_{koreksi}}$  : nilai gayaberat relatif terkoreksi

#### 2.4.3 Gayaberat Pengamatan

Gayaberat pengamatan merupakan nilai gayaberat absolut titik pengamatan yang telah beracuan pada gayaberat absolut titik base. Nilai gayaberat pengamatan didapatkan dengan formula 2.19.

$$g_{obs} = g_{obs_{base}} + (g_{rel_{koreksi_{base}}} - g_{rel_{koreksi_{titik}}}) \quad (2.19)$$

Keterangan:

$g_{obs}$  : gayaberat di titik pengamatan

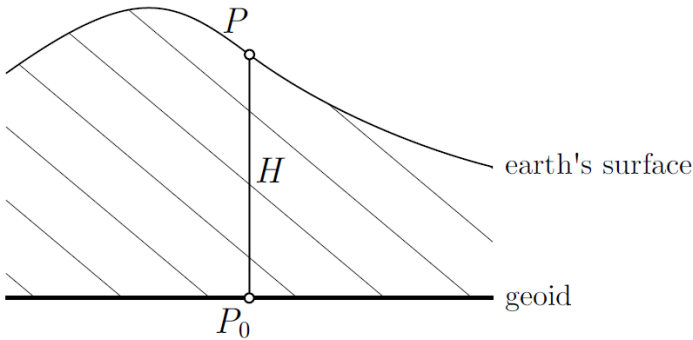
$g_{obs_{base}}$  : gayaberat di titik base

### 2.5 Reduksi Gayaberat *Free Air*

Gayaberat  $g$  diukur dari permukaan fisik bumi sehingga harus dibedakan dari gayaberat normal  $\gamma$  yaitu gayaberat dari ellipsoid. Nilai  $g$  dapat disamakan dengan nilai muka laut rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*) sehingga diperlukan reduksi (pengurangan). Dengan adanya suatu massa di atas permukaan laut maka metode reduksi berbeda-beda bergantung pada massa topografi tersebut.

Reduksi gayaberat biasanya disamakan dengan anomali gayaberat ( $\Delta g$ ) dan gangguan gayaberat ( $\delta g$ ). Reduksi gayaberat memiliki tiga tujuan utama yaitu (Hofmann, 2005):

- Penentuan geoid
- Interpolasi dan ekstrapolasi gayeberat
- Investigasi lempeng bumi



Gambar 2. 5 Reduksi Gayaberat  
(Sumber : Hoffman, 2005)

Secara teoritis, untuk mereduksi gayaberat pada geoid dibutuhkan  $\partial g / \partial H$ , gradien vertikal gayaberat. Jika  $g$  merupakan nilai yang diamati dari permukaan bumi maka nilai  $g_0$  pada geoid didapatkan dari *Taylor Expansion*:

$$g_0 = g - \frac{\partial g}{\partial H} H \dots \quad (2.20)$$

Dimana  $H$  merupakan tinggi antara  $P$ , titik gayaberat di atas geoid dan  $P_0$  titik yang terhubung pada geoid. Anggap bahwa ada massa di atas geoid dan abaikan semua kecuali yang linier maka didapatkan

$$g_0 = g - \delta g F \quad (2.21)$$

$$\delta g F = - \frac{\partial g}{\partial H} H \quad (2.22)$$

Merupakan reduksi *free-air* pada geoid. Asumsikan bahwa tidak ada masa di atas geoid yang dapat diinterpretasikan sehingga secara matematis massa tersebut telah dihilangkan sebelumnya, sehingga pada reduksi ini disebut *free air*. Dalam banyak tujuan praktis cukup digunakan  $\partial g / \partial H$  untuk gradien normal gayaberat (dihubungkan dengan tinggi elipsoid  $h$ )  $\partial \gamma / \partial h$ , didapatkan

$$\delta gF = - \frac{\partial \gamma}{\partial h} H = +0.3086 H \quad (2.23)$$

$$\Delta gF = g - \gamma_{(h)} + \delta gF \quad (2.24)$$

Dimana  $H$  merupakan tinggi ortometrik dalam satuan meter (Hofmann, 2005).

## 2.6 Pengukuran GPS (*Global Positioning System*)

### 2.6.1 Penentuan Posisi Horizontal

GPS adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca kepada banyak orang secara simultan. Dibandingkan dengan sistem dan metode penentuan posisi lainnya, GPS mempunyai banyak kelebihan dan menawarkan lebih banyak keuntungan, baik dari segi operasionalisasinya maupun kualitas posisi yang diberikan (Abidin, 2006).

### 2.6.2 GPS Heighting

GPS heighting merupakan isu yang tetap menarik untuk dikaji. Tinggi ellipsoid yang dihasilkan dari pengukuran GPS diharapkan bisa menggantikan atau setidaknya memberikan alternatif metode pengukuran tinggi konvensional sipat datar (*levelling*) yang mahal, *timeconsuming*, dan tergantung pada ketersediaan infrastruktur jalan.

Pada jaringan berskala lokal pengukuran tinggi (relatif) GPS bisa diaplikasikan untuk menggantikan metoda sipat datar/*levelling* dengan beberapa persyaratan, antara lain:

- Pengukuran memakai *receiver* GPS tipe geodetik
- Pengukuran menggunakan prosedur dan lama pengamatan yang optimal
- Pengolahan data dengan perangkat lunak teliti (*scientific software*)

Sedangkan untuk jaringan berskala regional berjarak ratusan kilometer, metode *GPS Heighting* belum memberikan ketelitian yang diharapkan (Lestari&Ramdani, 2006).

## 2.7 Model Geoid Global EGM 2008

EGM 2008 merupakan model *spherical harmonic* dari potensial gayaberat bumi yang dikembangkan dengan kombinasi kuadrat terkecil dari model gayaberat ITG-GRACE03S dan diasosiasikan dengan matriks kesalahan kovarian. Informasi gayaberat didapatkan dari pengukuran anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2.5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari *airborne*. EGM 2008 dilengkapi dengan derajat hingga 2159 dan terdiri dari koefisien tambahan hingga 2190. Semua area merupakan data gayaberat yang berkualitas yang didapatkan dari undulasi geoid EGM2008 dan pengukuran GPS/*Levelling* secara independen dibawah orde 5-10 cm. Defleksi vertikal EGM 2008 DI Amerika Serikat dan Australia mencapai 1.1 hingga 1.3 perdetik dari nilai astrogeodesi independen. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa EGM 2008 merupakan model geoid yang detail dan sesuai dengan kondisi sesungguhnya. EGM 2008 juga berhubungan dengan perhitungan model gayaberat berdasarkan satelit GRACE. EGM 2008 menunjukkan perkembangan dari EGM 96 yaitu resolusinya 6 kali lebih baik dan akurasi 3-6 kali lebih baik bergantung pada kuantitas gayaberat dan kondisi geografi suatu wilayah (Pavlis, dkk, 2012).

## 2.8 Uji Statistika

### 2.8.1 Rata-rata (*Mean*)

Rata-rata (*mean*) dilambangkan dengan tanda  $\bar{X}$  yang diberi garis di atasnya ( $\bar{X}$ ) biasa disebut  $\bar{X}$  bar. Rata-rata merupakan angka yang dapat mewakili suatu data untuk ukuran *tendency central*. Rata-rata biasa dirumuskan dengan jumlah seluruh angka yang ada pada data dibagi dengan banyaknya angka pada data dengan notasi formula sebagai berikut (Mikhail, 1981):

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  : rata-rata

$X_i$  : angka anggota data

$n$  : jumlah data

### 2.8.2 Standar Deviasi

Standar deviasi atau simpangan baku merupakan akar dari variansi. Standar deviasi dapat dipergunakan sebagai angka yang mewakili seluruh agregate untuk ukuran *variability*, dipengaruhi oleh perubahan oleh nilai observasi. Standar deviasi dilambangkan *sd* (Mikhail, 1981).

$$sd = \sqrt{\frac{\sum f_i X_i^2}{n-1} - \bar{X}^2} \quad (2.26)$$

Keterangan:

*sd* : standar deviasi

$\bar{X}$  : rata-rata

$f_i$  : frekuensi data

$X_i$  : angka anggota data

$n$  : jumlah data

## 2.9 Penelitian Sebelumnya

Pada awal abad ke 21 satelit gayaberat seperti satelit CHAMP (*Challenging Minisatellite Payload*), GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) dan GOCE (*Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*) telah berhasil diluncurkan. Teknologi satelit menandai adanya babak baru dalam penelitian tentang gayaberat. Dalam penelitian Hongwei Liu dkk. (2013) digunakan sistem *inner-formation flying* (IFS) dalam pemodelan dan analisis medan gayaberat bumi. IFS bertujuan untuk mengevaluasi secara cepat pada derajat tertinggi dari model medan gayaberat bumi dan kesalahan geoid kemudian menganalisis pengaruh dari parameter sistem pada pengukuran medan gayaberat (Liu, 2013).

Dengan meningkatnya penggunaan GPS maka kebutuhan akan tinggi geoid dan undulasi juga meningkat. Pada tahun 2008 di Sulawesi telah diadakan pengukuran data gravitasi dengan menggunakan metode *airborne gravimetry*. Data tersebut kemudian dihitung geoidnya. Pada penelitian Ramdani (2008) dibahas kesesuaian data model geoid global (EGM 2008 dan EGM 1996) dengan data pengukuran tersebut dan pengukuran GPS-*Levelling*. Kesimpulan dari data penelitian tersebut yaitu EGM 2008 lebih baik 0,88 meter dibandingkan dengan EGM 1996 (Ramdani, 2010).

Pada saat ini data gayaberat telah digunakan untuk berbagai keperluan seperti pengembangan keilmuan, eksplorasi dan sebagainya. Gayaberat relatif adalah gayaberat yang diperoleh dari hasil pengukuran gayaberat di suatu tempat. Pada penelitian Supriyadi (2009) dilakukan pengukuran gayaberat relatif di Kota Semarang menggunakan Gravimeter LaCoste dan Romberg. Hasil pengukuran berupa informasi gayaberat relatif dan sudah diikat ke titik referensi. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk peta kontur menggunakan aplikasi Surfer 8.0 (Supriyadi, 2009).

Dalam penelitian Rakapuri (2016) dilakukan pengukuran gayaberat menggunakan Gravimeter Scintrex CG-5. Hasil pengukuran gravimeter diolah dalam software gravsoft sehingga

menghasilkan pola undulasi gravimetrik. Apabila menggunakan sipatdatar dan GPS Geodetik perlu data gabungan keduanya untuk mendapatkan pola undulasi gravimetrik. Hasil pengukuran tersebut kemudian dimodelkan menjadi geoid lokal untuk Kota Semarang, tetapi geoid tersebut tidak disarankan menjadi acuan tinggi untuk pengukuran praktis karena dianggap belum memiliki ketelitian yang cukup (Rakapuri, 2016).

Dalam Keputusan Kepala BIG tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia penggunaan datum tinggi adalah geoid. Berdasarkan kondisi tersebut maka Ramdani dkk melakukan penelitian untuk mengevaluasi Model Global Geopotensial (CGM) yang paling baik untuk digunakan di Jakarta. Penelitian tersebut berupa analisis penyimpangan tinggi geoid dari hasil GM61 dan HSYNC terhadap tinggi geoid dari GNSS-*Levelling*. Dari hasil penelitian tersebut maka GIF 48 lebih cocok digunakan di Jakarta (Ramdani, 2012).

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

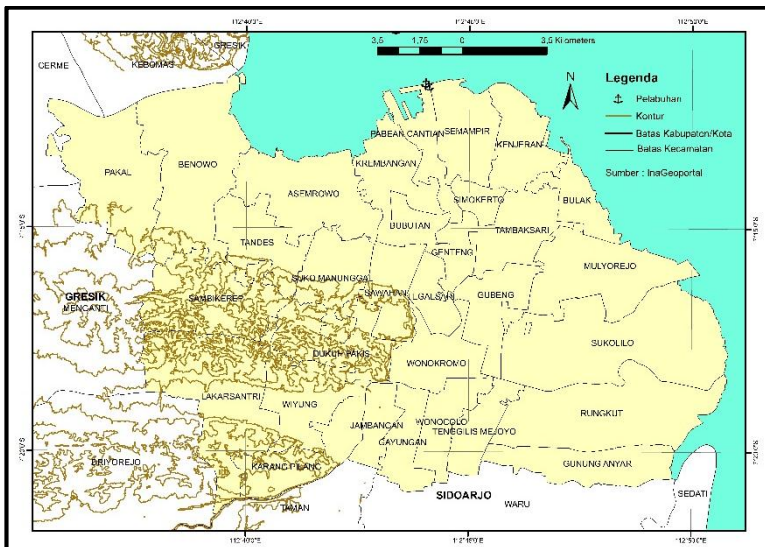


## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam tugas akhir ini yaitu di Kota Surabaya. Kota Surabaya yang secara resmi berdiri sejak tahun 1293 terkenal sebagai kota pelabuhan. Secara geografis Kota Surabaya berada di  $7^{\circ}9' - 7^{\circ}21'$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}36' - 112^{\circ}57'$  Bujur Timur, sebagian wilayah Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 3 – 6 meter di atas permukaan laut, sebagian lagi pada sebelah Selatan dan Barat merupakan kondisi berbukit-bukit dengan ketinggian 25 – 50 meter di atas permukaan laut (BAPEDA, 2013).



Gambar 3. 1 Peta Kota Surabaya

### 3.2 Peralatan dan Data

#### 3.2.1 Peralatan

Alat yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu

a. GPS Geodetik

GPS Geodetik digunakan dalam penentuan posisi baik secara horizontal ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) maupun secara vertikal ( $h$ ) titik-titik yang digunakan dalam tugas akhir ini.

b. Gravimeter Lacoste & Romberg tipe G-1053

Gravimeter digunakan untuk mengetahui nilai gayaberat relatif pada masing-masing titik.

c. Laptop dan Komputer

Laptop dan komputer digunakan untuk melakukan proses pengolahan data, baik data primer maupun sekunder serta proses pembuatan laporan.

d. Aplikasi GMT *Version 5.4.0*

Aplikasi GMT merupakan aplikasi *opensource* yang dapat didownload dengan mudah di website [gmt.soest.hawaii.edu](http://gmt.soest.hawaii.edu) yang dikembangkan oleh Paul Wessel, Walter H. F. Smith, Remko Scharroo, Joaquim Luis dan Florian Wobbe dan didukung oleh *US National Science Foundation* serta sukarelawan dari seluruh dunia. Dalam tugas akhir ini GMT digunakan untuk melakukan *plotting* data anomali gayaberat relatif *free air* EGM 2008 maupun hasil pengukuran. Selain itu, GMT digunakan juga untuk mengetahui nilai anomali gayaberat relatif *free air* dari EGM 2008 maupun pengukuran pada titik-titik tertentu untuk kemudian dianalisis.

e. Aplikasi Topcon Tool

Aplikasi Topcon Tool digunakan untuk mengolah data pengukuran GPS sehingga didapatkan nilai lintang, bujur dan beda tinggi ellipsoid.

f. Microsoft Office

Microsoft office merupakan aplikasi berlisensi yang didapatkan dari ITS. Microsoft office yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu Microsoft Office Word yang digunakan dalam pembuatan laporan dan Microsoft Office Excel yang digunakan dalam pengolahan data.

### 3.2.2 Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang penulis dapatkan secara langsung tanpa perantara. Berikut adalah data primer yang penulis dapatkan.

a. Gayaberat Relatif Hasil Pengukuran di Kota Surabaya

Data gayaberat relatif didapatkan dari pengukuran menggunakan gravimeter. Data tersebut kemudian diolah menjadi anomali gayaberat *free air* sehingga dapat dilakukan analisis kesesuaian dengan anomali gayaberat *free air* EGM 2008.

b. Data Posisi Titik Pengukuran

Data posisi titik pengukuran didapatkan dari pengukuran GPS yang diolah menggunakan software Topcon Tools sehingga didapatkan nilai lintang, bujur dan beda tinggi ellipsoid. Data beda tinggi ellipsoid tersebut dapat digunakan untuk menghitung elevasi dari masing-masing titik pengukuran gayaberat.

Sedangkan data sekunder merupakan data yang penulis dapatkan melalui perantara. Berikut adalah data sekunder yang penulis gunakan.

a. Stasiun Referensi

Data titik stasiun referensi didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Data tersebut diukur pada tahun 2003 dengan detail dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Stasiun Referensi Gayaberat BMKG

Nama	$\phi$ (LS)	$\lambda$ (BT)	H (m)	g (mGal)
<b>BMG.1.0324</b>	7°15.94'	112°45.17'	5	978108.76

Data stasiun referensi tersebut digunakan sebagai acuan dalam pengukuran gayaberat relatif.

b. Anomali gayaberat *Free Air* EGM 2008

Anomali gayaberat *free air* EGM 2008 didapatkan dari website <http://bgi.omp.obs-mip.fr/>. Data anomali yang didapatkan berukuran 2.5 menit x 2.5 menit. Data anomali gayaberat *free-air* EGM 2008 dapat dilihat pada lampiran 2.

c. Gayaberat Kota Surabaya Pengukuran 2016

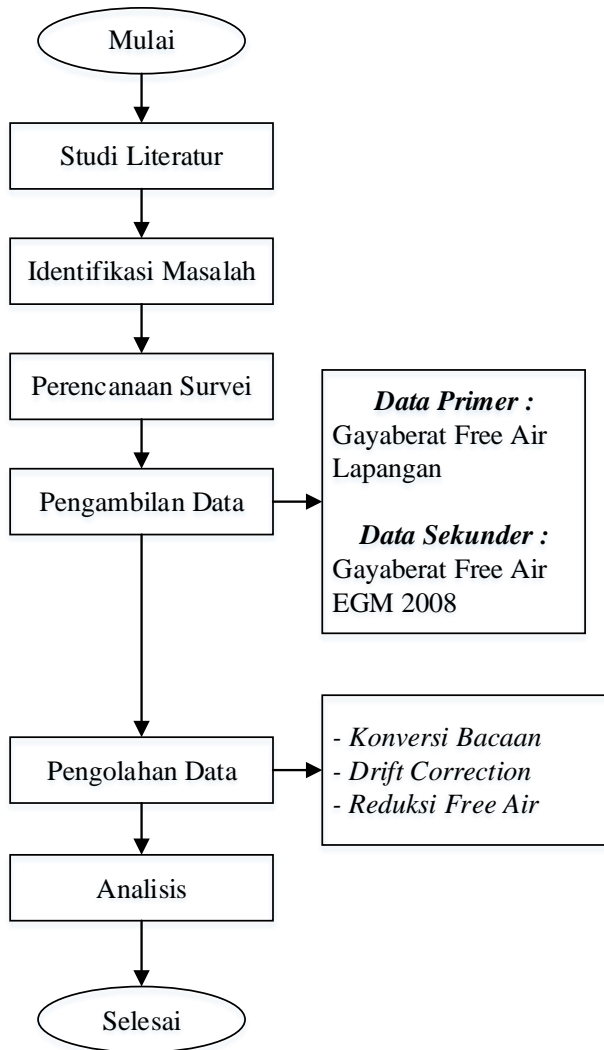
Data gayaberat Kota Surabaya didapatkan dari pengukuran Padama pada tahun 2016. Terdapat 10 titik pengukuran gayaberat relatif dan titik referensi yang digunakan titik gayaberat yang ada di Universitas Brawijaya Malang. Data pengukuran gayaberat tersebut dapat dilihat pada lampiran 3.

### 3.3 Metodologi Penelitian

Pada metodologi penelitian akan dijelaskan tahapan pelaksanaan tugas akhir dan tahap pengolahan data.

#### 3.3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir

Secara umum pelaksanaan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pelaksanaan Tugas Akhir

Berikut adalah penjelasan diagram alir di atas.

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal dan artikel yang berkaitan dengan pengukuran gayaberat relatif dan geoid. Studi literatur bertujuan untuk menemukan dan mempertajam masalah penelitian dan mengetahui teori-teori atau landasan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

b. Identifikasi Masalah

Dalam tahap identifikasi masalah dikumpulkan masalah-masalah yang telah ditemukan setelah dilakukan studi literatur, kemudian dipertajam dan difokuskan dan dicari solusinya. Dalam tahap ini penulis simpulkan bahwa EGM 2008 sebagai model geoid global belum diketahui secara pasti kesesuaiannya untuk keperluan lokal di Kota Surabaya, sehingga diperlukan adanya pengukuran insitu.

c. Perencanaan Survei

Dalam tahap perencanaan survei dilakukan perencanaan titik yang akan diukur dan metode apa yang digunakan dalam pengukuran tersebut. Selanjutnya, dilakukan orientasi lapangan yaitu observasi terhadap titik-titik yang akan diukur sehingga dapat diputuskan titik-titik dan metode yang benar-benar akan digunakan dalam pengukuran gayaberat tersebut.

d. Pengambilan Data

Pengambilan data dalam tugas akhir ini juga dibagi menjadi dua yaitu pengambilan data primer dan data pengambilan data sekunder. Berikut adalah pengambilan data primer.

- Gayaberat Relatif Hasil Pengukuran

Pengambilan data gayaberat relatif dilakukan pada 17-18 Februari 2017. Metode yang digunakan adalah metode *loop*, yaitu dengan melakukan pengukuran pertama di titik referensi kemudian kembali lagi ke titik referensi.

- Data Posisi Titik Pengukuran

Pengukuran GPS dilakukan pada 10 – 14 Maret 2017. Metode pengukuran yang digunakan yaitu metode radial dengan pusatnya di BM-ITS01.

Sedangkan pengambilan data sekunder adalah sebagai berikut.

- Anomali Gayaberat *Free Air*

Data anomali gayaberat *free air* diunduh pada website yang telah disebutkan pada subbab sebelumnya. Area yang dipilih yaitu area Kota Surabaya yaitu  $7,1^{\circ}$  LS –  $7,4^{\circ}$  LS dan  $112,5^{\circ}$  BT –  $113^{\circ}$  BT.

- Pengukuran Gayaberat Kota Surabaya Tahun 2016

Pengukuran gayaberat Kota Surabaya tahun 2016 didapatkan dari (Padama, 2016).

e. Pengolahan Data

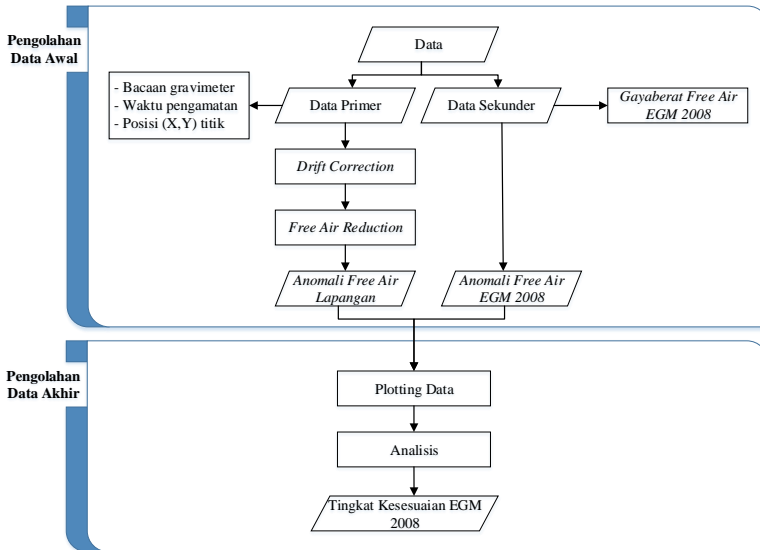
Pengolahan data juga dibagi antara data primer dan data sekunder. Data primer data pengukuran GPS diolah menjadi koordinat lintang, bujur dan beda tinggi ellipsoid. Dari beda tinggi ellipsoid kemudian didapatkan nilai elevasi titik. Bacaan gravimeter diolah menjadi nilai anomali gayaberat *free-air*. Sedangkan data sekunder pengukuran gayaberat relatif 2016 ditambahkan ke data primer untuk mendapatkan nilai yang lebih rapat. Data sekunder berupa data anomali *free air* EGM 2008 digunakan sebagai pembandingan dengan data primer.

f. Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan data EGM 2008 dengan data hasil pengukuran lapangan di Kota Surabaya. Dari perbandingan tersebut didapatkan tingkat kesesuaian EGM 2008 untuk Kota Surabaya. Semakin tinggi tingkat kesesuaian EGM 2008 terhadap nilai pengukuran lapangan maka EGM 2008 semakin tepat untuk digunakan sebagai geoid untuk Kota Surabaya.

### 3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dalam beberapa tahapan seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Pengolahan data pada tugas akhir ini meliputi pengolahan data primer dan sekunder. Berikut adalah pengolahan data primer.

#### a. Data Pengukuran Posisi Titik Pengukuran

Data pengukuran GPS yang didapatkan masih berformat berbeda-beda setiap alat. Oleh karena itu, diperlukan konversi data menjadi data observasi dan data navigasi. Setelah didapatkan data observasi dan data navigasi maka tahap selanjutnya dilakukan pengolahan di Topcon Tool.

#### b. Data Bacaan Alat Gravimeter

Pengolahan data bacaan gravimeter dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



- Konversi Bacaan

Data yang didapatkan dalam pengukuran gravimeter masih berupa data bacaan alat, sehingga diperlukan konversi untuk melakukan tahap selanjutnya. Tahap konversi ini menggunakan formula 2.16. Nilai faktor interval dan nilai mGal terdapat pada tabel data Gravimeter yang dapat dilihat pada lampiran 1.

- *Drift Correction*

Setelah didapatkan nilai bacaan yang terkonversi maka dilakukan koreksi pergeseran menggunakan formula 2.17. Koreksi pergeseran bertujuan untuk mendapatkan nilai gayaberat relatif yang telah terkoreksi. Nilai tersebut kemudian diselisihkan dengan nilai titik referensi untuk mendapatkan nilai gayaberat observasi.

- *Free Air Reduction*

Reduksi udara bebas dilakukan untuk menghilangkan efek udara bebas pada pengukuran. Formula yang digunakan dalam reduksi ini yaitu formula 2.24. Setelah pengolahan reduksi udara bebas ini juga akan didapatkan nilai anomali gayaberat *free air* yang akan di-*plotting* di GMT.

c. Data Anomali Gayaberat *Free Air*.

Data anomali gayaberat *free air* yang dilakukan *plotting* di GMT.

Selanjutnya dilakukan pengolahan data akhir yaitu penyajian data. Setelah semua data diolah menjadi anomali gayaberat *free air* maka data tersebut kemudian di-*plotting* menjadi sebuah peta anomali gayaberat *free air* Kota Surabaya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengolahan Data Primer**

##### **4.1.1 Data Pengukuran GPS**

Dari pengolahan data GPS didapatkan koordinat lintang, bujur dan tinggi seperti pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Koordinat Titik Pengukuran

<b>No</b>	<b>Stasiun</b>	<b>Lintang (derajat)</b>	<b>Bujur (derajat)</b>	<b>H (m)</b>
<b>1</b>	BMG.1.0324	-7.266	112.752	5.000
<b>2</b>	BM16	-7.268	112.771	3.439
<b>3</b>	LB06	-7.222	112.778	2.815
<b>4</b>	BM01	-7.299	112.737	7.835
<b>5</b>	LB04	-7.345	112.729	5.760
<b>6</b>	SBY007	-7.306	112.709	6.999
<b>7</b>	BM33	-7.328	112.679	9.928
<b>8</b>	BM29	-7.313	112.635	8.500
<b>9</b>	BM24	-7.291	112.663	26.442
<b>10</b>	BM23	-7.261	112.634	19.642
<b>11</b>	BM21	-7.244	112.613	7.682
<b>12</b>	SBY015	-7.226	112.680	2.160
<b>13</b>	BM08	-7.264	112.693	5.706
<b>14</b>	LB08	-7.249	112.732	3.024
<b>15</b>	BM ITS01	-7.282	112.794	3.286
<b>16</b>	BM Pakuwon	-7.269	112.817	2.294
<b>17</b>	BM19	-7.310	112.823	2.613
<b>18</b>	LB01	-7.327	112.757	3.771
<b>19</b>	SBY003	-7.340	112.776	2.584

Data di atas merupakan data posisi patok yang diukur. Data lintang dan bujur merupakan data posisi titik pengukuran secara horizontal dan data tinggi ortometrik (*H*) secara vertikal. Tinggi ortometrik didapatkan dengan metode *GPS Heighting* yaitu diasumsikan beda tinggi ellipsoid pada area lokal dianggap sebagai beda tinggi geoid. Tinggi ortometrik beracuan pada pengukuran

Kuswondo (2012) pada stasiun LB03 (dapat dilihat pada lampiran) yang beracuan pada MSL yang diasumsikan sama dengan geoid. Pengukuran gayaberat dilakukan di atas permukaan tanah, sehingga nilai tinggi ortometrik yang didapatkan dari pengolahan GPS perlu dikurangkan dengan tinggi masing-masing patok seperti pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Tinggi Ortometrik Tanah

No	Stasiun	H (m)	Tinggi Patok (m)	H <sub>tanah</sub> (m)
1	BMG.1.0324	5.000	0.000	5.000
2	BM16	3.439	0.200	3.239
3	LB06	2.815	0.040	2.775
4	BM01	7.835	0.220	7.615
5	LB04	5.760	0.326	5.434
6	SBY007	6.999	0.000	6.999
7	BM33	9.928	0.300	9.628
8	BM29	8.500	0.455	8.045
9	BM24	26.442	0.341	26.101
10	BM23	19.642	0.275	19.367
11	BM21	7.682	0.000	7.682
12	SBY015	2.160	0.000	2.160
13	BM08	5.706	0.335	5.371
14	LB08	3.024	0.237	2.787
15	BM ITS01	3.286	0.225	3.061
16	BM Pakuwon	2.294	0.229	2.065
17	BM19	2.613	0.154	2.459
18	LB01	3.771	0.38	3.391
19	SBY003	2.584	0.215	2.369

Nilai tinggi ortometrik pada permukaan tanah ( $H_{\text{tanah}}$ ) kemudian digunakan pada proses reduksi *free-air*.

#### 4.1.2 Data Pengukuran Gayaberat

Hasil pengukuran data gayaberat relatif di lapangan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Gayaberat Relatif

No	Stasiun	Bacaan 1	Bacaan 2	Bacaan 3	Rata- rata	Std. Dev
1	BMG.1.0324	1719.030	1719.030	1719.030	1719.030	0.000
2	BM 16	1719.255	1719.300	1719.290	1719.282	0.024
3	LB06	1726.005	1726.005	1726.005	1726.005	0.000
4	BM01	1713.372	1713.372	1713.372	1713.372	0.000
5	LB04	1706.440	1706.440	1706.440	1706.440	0.000
6	SBY007	1714.222	1714.222	1714.222	1714.222	0.000
7	BM33	1711.520	1711.520	1711.520	1711.520	0.000
8	BM29	1714.141	1714.141	1714.141	1714.141	0.000
9	BM24	1711.088	1711.088	1711.088	1711.088	0.000
10	BM23	1714.160	1714.160	1714.160	1714.160	0.000
11	BM21	1719.411	1719.411	1719.411	1719.411	0.000
12	SBY015	1724.541	1724.962	1724.635	1724.713	0.221
13	BM8	1716.635	1716.635	1716.635	1716.635	0.000
14	LB08	1718.409	1718.371	1718.409	1718.396	0.022
15	BM ITS01	1718.325	1718.325	1718.352	1718.334	0.016
16	BM Pakuwon	1718.352	1718.352	1718.352	1718.352	0.000
17	BM19	1707.088	1707.729	1707.317	1707.378	0.325
18	LB01	1708.430	1708.430	1708.545	1708.468	0.066
19	SBY003	1703.995	1703.995	1704.055	1704.015	0.035
20	BMG.1.0324	1718.810	1718.810	1718.810	1718.810	0.000

Nilai standar deviasi yang didapatkan melambangkan tingkat presisi pengukuran. Semakin tinggi nilai standar deviasi maka tingkat presisinya semakin rendah. Pada tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai standar deviasi tinggi adalah SBY015 dan BM19 yaitu 0.22098 dan 0.32482. Nilai standar deviasi SBY015 (dekat kawasan pergudangan) tinggi disebabkan karena area di sekitar titik yang kurang mendukung yaitu di dekat jalan dan

aktivitas jalan tersebut cukup tinggi. Posisi SBY015 dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Posisi Stasiun SBY015  
(Sumber : Google Maps, 2017)

Sedangkan, pada BM19 (dekat Wisata Mangrove) disebabkan lokasi patok yang sangat dekat dengan jalan, kondisi tanah disekitar patok yang kurang stabil dan beberapa kendaraan lalu lalang melewati jalan tersebut. Posisi stasiun BM19 dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Posisi Stasiun BM19  
(Sumber : Google Maps, 2017)

Data pengukuran gayaberat ini diolah melalui beberapa tahap seperti berikut.

a. Konversi Bacaan Alat

Data bacaan alat yang telah didapatkan dari pengukuran lapangan dikonversi menjadi gayaberat relatif menggunakan persamaan 2.16, sehingga didapatkan nilai yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Konversi Bacaan Alat

No	Stasiun	Rata-rata bacaan	Gayaberat Relatif (mGal)
1	BMG.1.0324	1719.030	1743.209
2	BM 16	1719.282	1743.464
3	LB06	1726.005	1750.282
4	BM01	1713.372	1737.471
5	LB04	1706.440	1730.441
6	SBY007	1714.222	1738.333
7	BM33	1711.520	1735.593
8	BM29	1714.141	1738.251
9	BM24	1711.088	1735.155
10	BM23	1714.160	1738.271
11	BM21	1719.411	1743.595
12	SBY015	1724.713	1748.972
13	BM8	1716.635	1740.780
14	LB08	1718.396	1742.566
15	BM ITS01	1718.334	1742.503
16	BM Pakuwon	1718.352	1742.521
17	BM19	1707.378	1731.392
18	LB01	1708.468	1732.498
19	SBY003	1704.015	1727.982
20	BMG.1.0324	1718.810	1742.986

Data hasil konversi merupakan data bacaan gayabarat relatif pengukuran. Data tersebut yang kemudian akan dikoreksi apungan.

b. Perhitungan *Drift Correction*

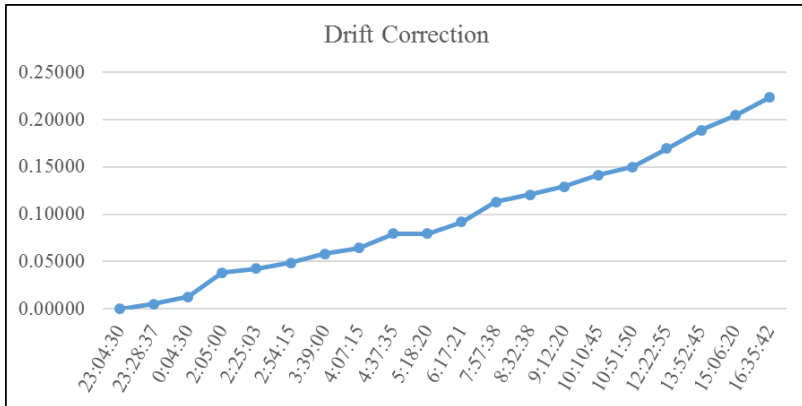
*Drift Correction* atau koreksi apungan dilakukan untuk mengurangi efek pergeseran yang mungkin terjadi. Seperti pada formula 2.17 koreksi apungan merupakan fungsi waktu sehingga nilainya didasarkan pada waktu pengukuran seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perhitungan Koreksi Apungan

No	Stasiun	Waktu Pengukuran	Selisih Waktu (jam)	<i>Drift Correction</i> (mGal)
1	BMG.1.0324	23:04:30	0:00:00	0.000
2	BM 16	23:28:37	0:24:07	0.005
3	LB06	0:04:30	1:00:00	0.013
4	BM01	2:05:00	3:00:30	0.038
5	LB04	2:25:03	3:20:33	0.042
6	SBY007	2:54:15	3:49:45	0.049
7	BM33	3:39:00	4:34:30	0.058
8	BM29	4:07:15	5:02:45	0.064
9	BM24	4:37:35	5:33:05	0.071
10	BM23	5:18:20	6:13:50	0.079
11	BM21	6:17:21	7:12:51	0.092
12	SBY015	7:57:38	8:53:08	0.113
13	BM8	8:32:38	9:28:08	0.120
14	LB08	9:12:20	10:07:50	0.129
15	BM ITS01	10:10:45	11:06:15	0.141
16	BM Pakuwon	10:51:50	11:47:20	0.150
17	BM19	12:22:55	13:18:25	0.169
18	LB01	13:52:45	14:48:15	0.188
19	SBY003	15:06:20	16:01:50	0.204
20	BMG.1.0324	16:35:42	17:31:12	0.223



Nilai koreksi pergeseran dipengaruhi oleh waktu, sehingga dapat dilihat pada tabel 4.6 di atas bahwa semakin lama nilai koreksi pergeserannya semakin tinggi seperti ditunjukkan gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik Drift Correction

Setelah perhitungan koreksi apungan maka hasil yang didapatkan adalah nilai gayaberat relatif yang terkoreksi. Nilai tersebut kemudian diubah menjadi nilai gayaberat observasi yang beracuan pada BMG.1.0324 dengan nilai gayaberat 978108.76 mGal. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

Jika sudah terkoreksi pergeseran maka nilai gayaberat relatif dan gayaberat observasi awal dan akhir (BMG.1.0324) sama. Sedangkan nilai gayaberat relatif yang paling tinggi adalah pada SBY015 dan paling rendah SBY003. Hal tersebut berarti nilai gaya gayaberat di titik tersebut cukup tinggi. Kemudian nilai gayaberat relatif yang tinggi mempengaruhi nilai gayaberat pengamatan, sehingga nilai gayaberat pengamatan SBY015 juga paling tinggi dan SBY003 paling rendah.

Tabel 4. 6 Perhitungan Gayaberat Relatif Terkoreksi

No	Stasiun	$g_{rel}$ Lapangan (mGal)	<i>Drift</i> <i>Correction</i>	$g_{rel}$ terkoreksi (mGal)	Gayaberat Pengamatan (mGal)
1	BMG.1.0324	1743.209	0.000	1743.209	978108.76
2	BM 16	1743.464	0.005	1743.469	978109.020
3	LB06	1750.282	0.013	1750.295	978115.846
4	BM01	1737.471	0.038	1737.509	978103.060
5	LB04	1730.441	0.042	1730.483	978096.035
6	SBY007	1735.593	0.049	1738.382	978103.933
7	BM33	1738.251	0.058	1735.651	978101.202
8	BM29	1735.155	0.064	1738.315	978103.866
9	BM24	1738.270	0.079	1735.234	978100.785
10	BM23	1743.595	0.079	1738.349	978103.900
11	BM21	1748.971	0.092	1743.687	978109.238
12	SBY015	1740.780	0.113	1749.085	978114.636
13	BM8	1742.566	0.120	1740.901	978106.452
14	LB08	1742.503	0.129	1742.695	978108.246
15	BM ITS01	1742.521	0.141	1742.644	978108.196
16	BM Pakuwon	1731.392	0.150	1742.671	978108.222
17	BM19	1732.499	0.169	1731.562	978097.113
18	LB01	1727.982	0.188	1732.686	978098.238
19	SBY003	1742.986	0.204	1728.186	978093.737
20	BMG.1.0324	1743.209	0.223	1743.209	978108.76

### c. Perhitungan *Free Air Reduction*

*Free air reduction* atau reduksi udara bebas dilakukan untuk mengurangi efek udara bebas di atas permukaan tanah. Nilai reduksi udara bebas dipengaruhi oleh tinggi ortometrik sehingga dapat dikatakan bahwa nilai anomali gayaberat *free air* juga mewakili topografi suatu area. Untuk melihat perbandingan

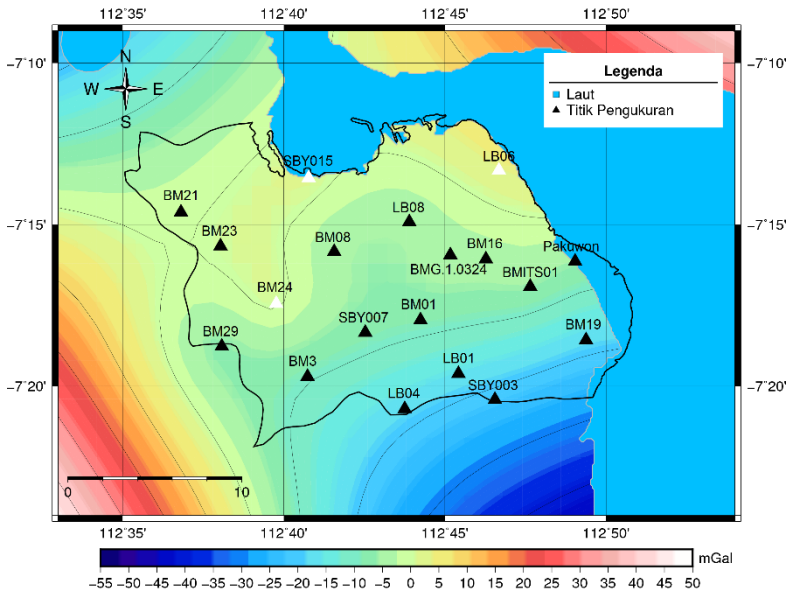
tersebut akan digambarkan pada subbab berikutnya. Hasil perhitungan reduksi udara bebas dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Perhitungan Reduksi Udara Bebas

No	Stasiun	<i>Free Air Reduction (mGal)</i>	<i>Anomali Free Air (mGal)</i>	<i>Gayaberat Geoid (mGal)</i>
1	BMG.1.0324	1.543	-3.418	978110.303
2	BM 16	1.061	-4.169	978110.082
3	LB06	0.869	3.304	978116.715
4	BM01	2.418	-8.128	978105.478
5	LB04	1.778	-17.479	978097.812
6	SBY007	2.160	-7.918	978106.093
7	BM33	3.064	-9.358	978104.266
8	BM29	2.623	-7.220	978106.489
9	BM24	8.160	1.057	978108.831
10	BM23	6.062	0.866	978109.962
11	BM21	2.371	-0.787	978111.609
12	SBY015	0.666	1.600	978115.307
13	BM8	1.761	-5.252	978108.212
14	LB08	0.933	-4.767	978109.180
15	BM ITS01	1.014	-5.410	978109.210
16	BM Pakuwon	0.708	-5.701	978108.930
17	BM19	0.806	-17.534	978097.919
18	LB01	1.164	-16.090	978099.401
19	SBY003	0.797	-21.628	978094.534
20	BMG.1.0324	1.543	-3.418	978110.303

d. *Plotting* data di GMT

*Plotting* data di GMT dilakukan sebagai salah satu bentuk penyajian data tugas akhir ini. Data yang disajikan dalam yaitu anomali *free air*. Hasil *plotting* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



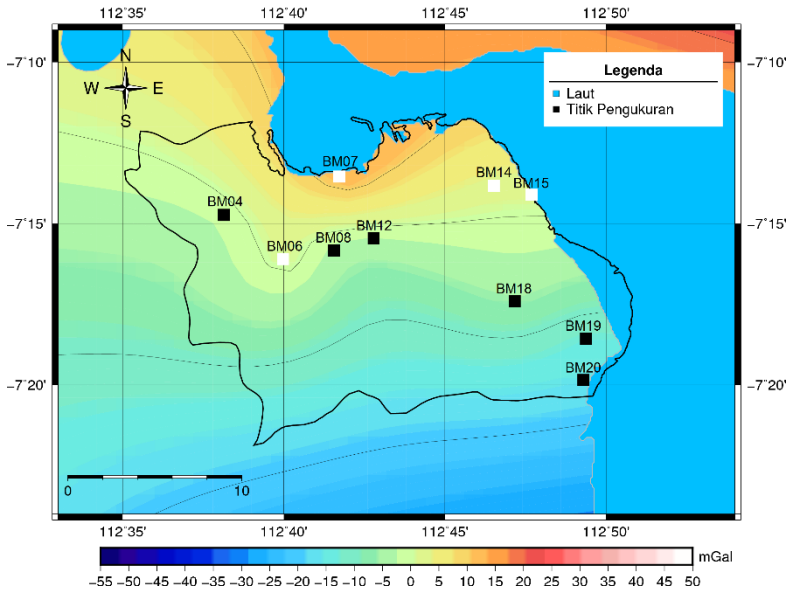
Gambar 4. 4 Anomali *Free Air* Hasil Pengukuran 2017

Pada gambar 4.4 di atas dapat dilihat, terdapat 18 titik pengukuran gayabarat. Titik pengukuran gayabarat ditunjukkan dengan tanda segitiga. Warna hitam menunjukkan nilai anomali *free air* yang negatif sedangkan warna putih menunjukkan nilai anomali *free air* positif. Karena titik pengukuran yang dilakukan cukup banyak maka didapatkan kerapatan data yang cukup bagus.

## 4.2 Hasil Pengolahan Data Sekunder

### 4.2.1 Anomali *Free Air* Hasil Pengukuran 2016

Pengukuran gayabarat tahun 2016 telah menghasilkan nilai gayabarat *free air*. Berikut adalah hasil *plotting* nilai anomali *free air* hasil pengukuran 2016, lihat gambar 4.5 berikut.

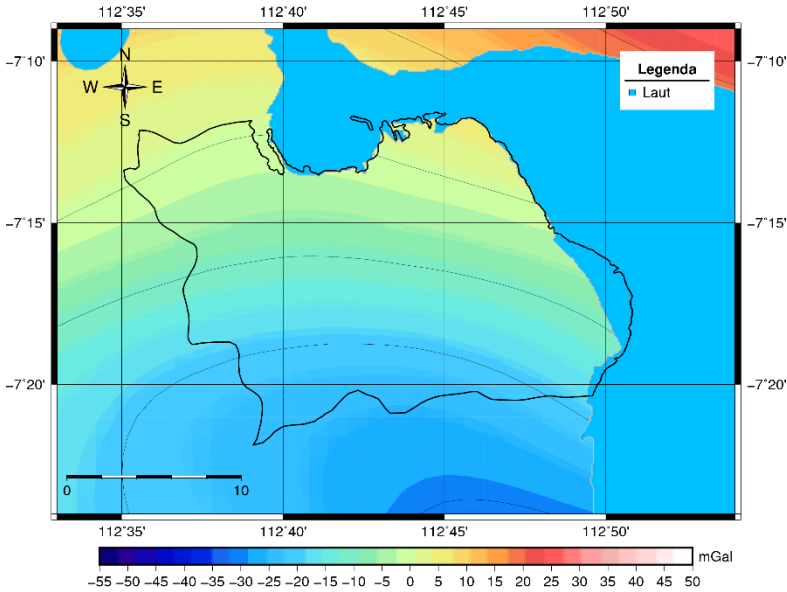


Gambar 4. 5 Anomali *Free Air* Hasil Pengukuran 2016

Pada gambar 4.5 di atas dapat dilihat, terdapat 10 titik pengukuran gayabarat. Titik pengukuran gayabarat ditunjukkan dengan tanda segitiga. Warna hitam menunjukkan nilai anomali *free air* negatif sedangkan warna putih menunjukkan nilai anomali *free air* positif. Karena titik pengukuran yang dilakukan relatif sedikit dan kurang tersebar merata, maka terdapat nilai ekstrapolasi pada area yang tidak terdapat titik. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran gayabarat 2017 maka nilai anomali yang dihasilkan kurang teliti.

#### 4.2.2 Anomali *Free Air* EGM 2008

Data anomali *free air* yang telah didapatkan juga langsung dapat di-*plotting* pada GMT. Hasil *plotting* nilai anomali *free air* dapat dilihat pada gambar 4.6.



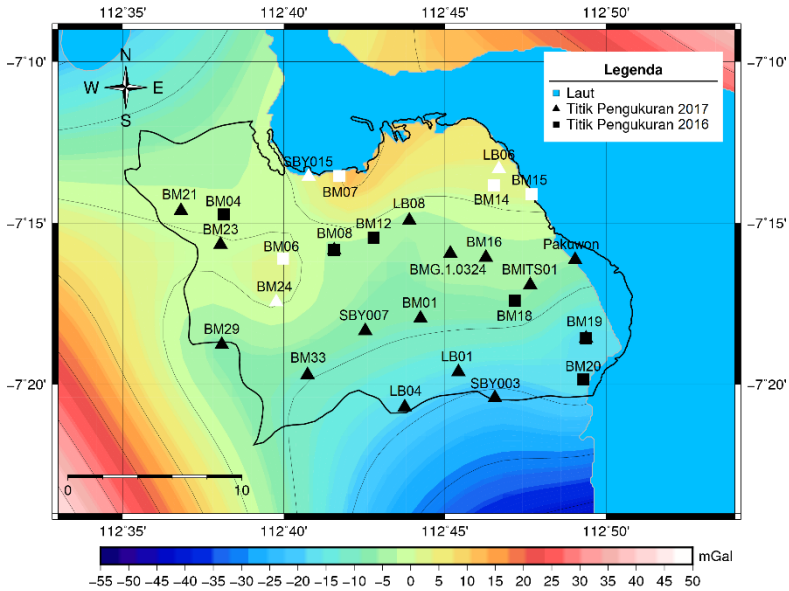
Gambar 4. 6 Anomali *Free Air* EGM 2008

Anomali *free air* EGM 2008 merupakan data yang telah digridkan dalam ukuran 2,5 menit x 2,5 menit sehingga datanya cukup rapat. Akan tetapi, bila kita bandingkan dengan hasil *plotting* anomali *free air* pengukuran tahun 2016 maupun 2017 terdapat perbedaan yang signifikan.

### 4.3 Hasil Penyajian Data di GMT

#### 4.3.1 Anomali *Free Air* 2016 dan 2017

Setelah masing-masing data disajikan seperti di atas, maka kedua data tersebut digabungkan dan dilakukan *plotting* kembali. Hasil penggabungan kedua data tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Anomali Free Air Hasil Pengukuran 2016 dan 2017

Pada gambar 4.7 di atas dapat dilihat setelah penggabungan terdapat 28 titik pengukuran gayaberat dengan dua titik pengukuran yang sama. Titik pengukuran gayaberat pada tahun 2016 ditunjukkan dengan tanda segiempat sedangkan pengukuran tahun 2017 ditunjukkan dengan tanda segitiga. Warna hitam menunjukkan nilai anomali *free air* bernilai negatif, sedangkan warna putih menunjukkan nilai anomali *free air* bernilai positif.

Dapat dilihat bahwa terdapat dua titik yang sama. Perbandingan kedua titik tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perbandingan Anomali Free Air 2016 dan 2017

No	Stasiun	Anomali <i>Free Air</i>		Selisih
		2016	2017	
1	BM08	-4.205	-5.459	1.254
2	BM19	-13.032	-17.629	4.598

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan pengukuran tahun 2016 dan 2017. Hal tersebut dikarenakan karena pengukuran gayabarat relatif yang dihasilkan juga berbeda serta kondisi patok sudah berubah. Sedangkan pada BM19 memiliki nilai standar deviasi yang tinggi pada pengukuran 2017.

Kedua data tersebut tetap digunakan pada *plotting* tersebut, sehingga gambar yang dihasilkan seperti pada gambar 4.6. Setelah dilakukan penggabungan dapat dilihat bahwa data peta yang dihasilkan menjadi lebih detail dibandingkan dengan *plotting* data yang sebelumnya.

#### 4.3.2 Selisih Anomali *Free Air* Titik Pengukuran dan EGM 2008

Nilai selisih didapatkan dari nilai absolut dari anomali *free air* EGM 2008 dikurangi nilai anomali *free air* data insitu. Selisih anomali *free air* data insitu dengan EGM 2008 dapat dilihat pada tabel 4.9.



Tabel 4. 9 Selisih Anomali Free Air Data Insitu dan EGM 2008

No	Stasiun	Data Insitu (mGal)	EGM 2008 (mGal)	Selisih (mGal)
1	BMG.1.0324	-3.418	-7.742	4.324
2	BM 16	-4.169	-7.177	3.008
3	LB06	3.304	2.682	0.622
4	BM01	-8.128	-16.444	8.316
5	LB04	-17.479	-25.204	7.725
6	SBY007	-7.918	-18.639	10.721
7	BM33	-9.358	-22.369	13.011
8	BM29	-7.220	-18.530	11.31
9	BM24	1.276	-14.949	16.225
10	BM23	0.866	-7.422	8.288
11	BM21	-0.787	-3.275	2.488
12	SBY015	1.600	-2.835	4.435
13	BM8	-5.252	-9.210	3.958
14	LB08	-4.767	-4.999	0.232
15	BM ITS01	-5.410	-9.016	3.606
16	BM Pakuwon	-5.701	-4.559	1.142
17	BM19	-17.534	-12.112	5.422
18	LB01	-16.090	-21.494	5.404
19	SBY003	-21.628	-22.539	0.911
20	BM18	-5.709	-11.254	5.545
21	BM20	-15.822	-16.372	0.550
22	BM15	1.596	0.896	0.700
23	BM14	2.510	0.739	1.770
24	BM07	13.405	-2.272	15.677
25	BM06	1.903	-10.076	11.979
26	BM04	-2.114	-4.846	2.732
27	BM12	-3.041	-7.567	4.526
			$\bar{x}$	<b>5.727</b>
			$\sigma$	<b>4.734</b>

Tabel 4. 10 Kesesuaian Titik Pengukuran

No	Stasiun	Selisih (mGal)	Keterangan
1	BMG.1.0324	4.324	Sesuai
2	BM 16	3.008	Sesuai
3	LB06	0.622	Sesuai
4	BM01	8.316	Tidak Sesuai
5	LB04	7.725	Tidak Sesuai
6	SBY007	10.721	Tidak Sesuai
7	BM33	13.011	Tidak Sesuai
8	BM29	11.31	Tidak Sesuai
9	BM24	16.225	Tidak Sesuai
10	BM23	8.288	Tidak Sesuai
11	BM21	2.488	Sesuai
12	SBY015	4.435	Sesuai
13	BM8	3.958	Sesuai
14	LB08	0.232	Sesuai
15	BM ITS01	3.606	Sesuai
16	BM Pakuwon	1.142	Sesuai
17	BM19	5.422	Sesuai
18	LB01	5.404	Sesuai
19	SBY003	0.911	Sesuai
20	BM18	5.545	Sesuai
21	BM20	0.55	Sesuai
22	BM15	0.7002	Sesuai
23	BM14	1.7705	Sesuai
24	BM07	15.677	Tidak Sesuai
25	BM06	11.979	Tidak Sesuai
26	BM04	2.7318	Sesuai
27	BM12	4.5264	Sesuai

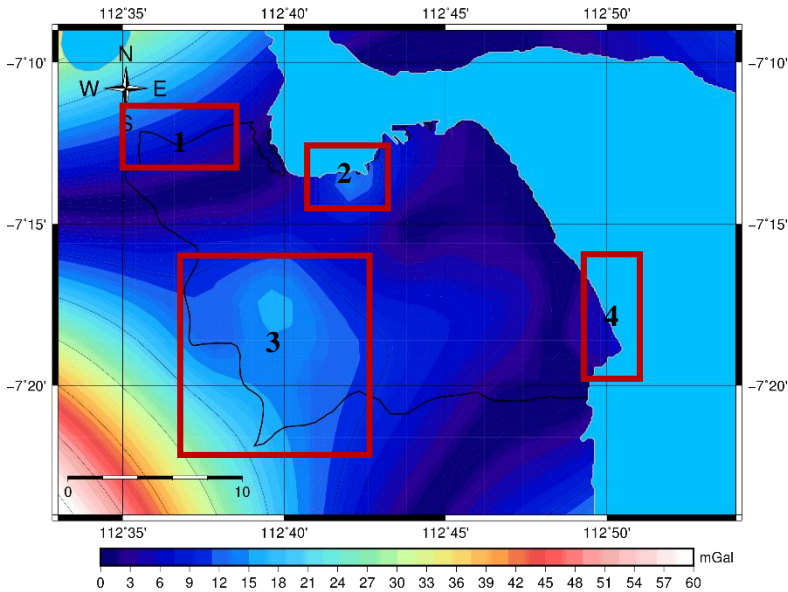
Berdasarkan tabel 4.10 terdapat 6 dari 27 titik yang tidak sesuai sehingga presenase kesesuaian titik tersebut sebesar

$$\frac{27 - 9}{27} \times 100 = 66.67\%$$

Dapat disimpulkan bahwa kesesuaian EGM 2008 terhadap data insitu cukup sesuai yaitu 66.67%.

#### 4.3.3 Selisih Data Insitu dan EGM 2008 (Hasil *Gridding* di GMT)

Setelah semua data di-*plot* maka data hasil *plotting* tersebut diekstraksi menggunakan aplikasi GMT dengan ukuran grid 0.01 derajat x 0.01 derajat. Kedua data tersebut akan memiliki data koordinat yang sama sehingga dapat dibandingkan satu sama lain. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada lampiran 4. Selanjutnya kedua data diselisihkan sehingga didapatkan nilai perbedaan antara keduanya. Hasil selisih tersebut di-*plot* pada GMT untuk mengetahui persebaran selisih anomali *free air* EGM 2008 dengan data pengukuran. Hasil *plotting* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Selisih Anomali *Free Air* EGM dan Data Insitu

Berdasarkan gambar di atas terdapat beberapa area yang memiliki selisih anomali EGM yang cukup tinggi. Area kotak nomor 1 memiliki selisih anomali antara 6-9 mGal. Hal tersebut dikarenakan, tidak adanya titik pengukuran pada area tersebut. Sehingga nilai yang didapatkan berasal dari hasil ekstrapolasi titik paling dekat.

Area kotak nomor 2 memiliki selisih anomali 6 hingga 15 mGal. Area tersebut merupakan area Pelabuhan Tanjung Perak yang memiliki aktivitas sangat tinggi yang berpengaruh terhadap proses pengukuran.

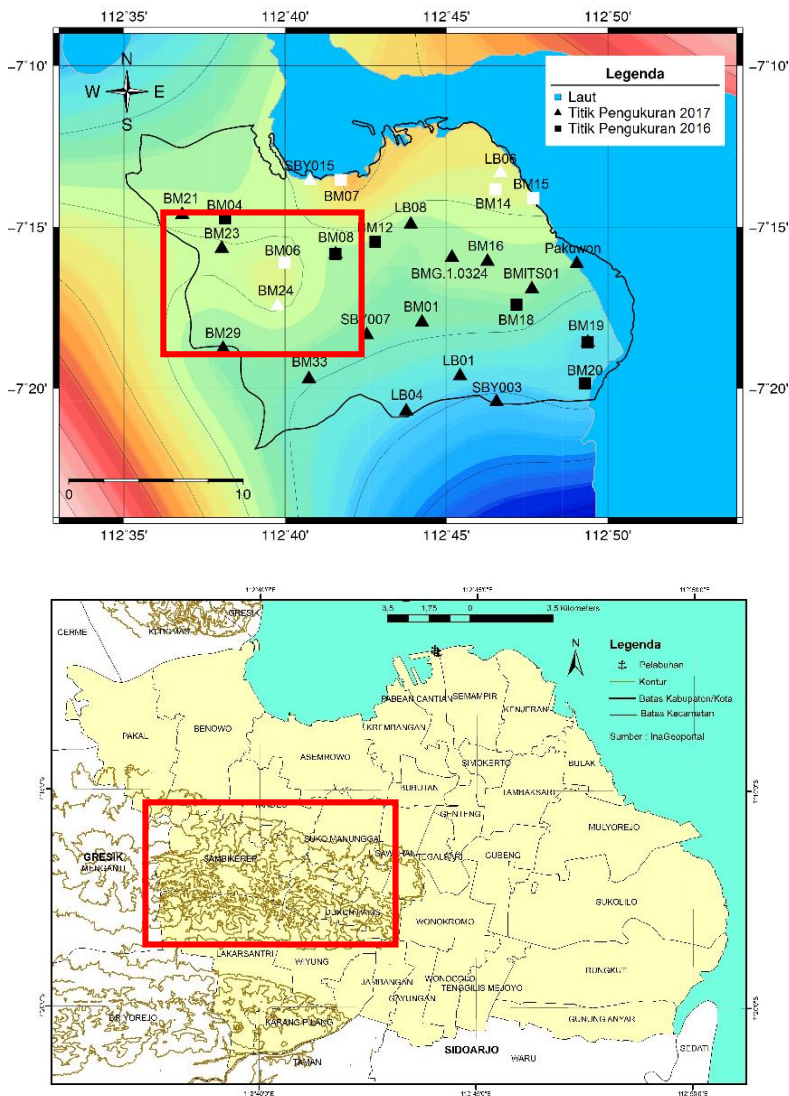
Area kotak nomor 3 memiliki selisih anomali antara 6 hingga 21 mGal. Hal tersebut dikarenakan topografi area tersebut sangat bervariasi, sehingga data dari EGM 2008 tidak dapat mewakili area tersebut.

Sedangkan pada area kotak 4, nilai selisih anomali cukup tinggi dikarenakan kurangnya titik pengukuran dan juga area tersebut merupakan area tambak dengan tingkat sedimentasi yang tinggi.

Berdasarkan hasil selisih data insitu dan data EGM 2008 didapatkan nilai rata-rata 10.350 mGal dengan standar deviasi sebesar 10.834 mGal. Penentuan tingkat kesesuaian EGM 2008 didasarkan pada nilai rata-rata sehingga nilai selisih yang kurang dari 10.350 dianggap sesuai dengan data insitu sedangkan nilai selisih yang lebih dari rata-ratanya dianggap tidak sesuai dengan data insitu. Persentase data yang memenuhi kriteria tersebut yaitu 64.10%, sedangkan sisanya tidak sesuai.

#### 4.3.4 Perbandingan Anomali Gayaberat *Free Air* dengan Peta Kontur

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, nilai anomali gayaberat *free air* dipengaruhi oleh tinggi ortometrik. Oleh karena itu, penggambaran nilai anomali gayaberat *free air* akan menggambarkan topografi suatu area, yang dapat dilihat pada peta kontur. Gambar perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Perbandingan Anomali Free Air dan Kontur

Berdasarkan gambar 4.9 tersebut dapat dilihat bahwa area dengan kotak merah merupakan area dengan anomali yang cukup bervariasi dan konturnya pun cukup bervariasi. Sehingga, nilai anomali gayabarat *free air* juga dapat menggambarkan topografi suatu area secara umum.

Area Kota Surabaya bagian utara memiliki nilai anomali *free air* yang tinggi disebabkan posisinya yang memiliki koordinat lintang lebih besar daripada Kota Surabaya bagian selatan meskipun topografi kedua area tidak bervariasi.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan data dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian tugas akhir ini.

- a. Gayaberat *free air* di Kota Surabaya berdasarkan pengukuran 978093.737 mGal hingga 978115.846 mGal dengan anomali berkisar antara -25 mGal hingga 20 mGal. Berdasarkan *plotting* data didapatkan bahwa nilai anomali gayaberat *free air* Kota Surabaya yang sangat bervariasi.
- b. Anomali gayaberat *free air* yang didapatkan dari EGM 2008 di Kota Surabaya berkisar antara -30 mGal hingga 10 mGal. Berdasarkan *plotting* data tersebut didapatkan bahwa lebih dari setengah dari wilayah Kota Surabaya memiliki anomali gayaberat *free air* yang kecil (negatif) dan sangat tidak bervariasi.
- c. Selisih data anomali gayaberat *free air* pengukuran dan EGM 2008 berkisar antara 0-21 mGal. Selisih yang besar disebabkan kurangnya titik pengukuran serta variasi topografi area tersebut.
- d. Berdasarkan pengolahan data dan analisis selisih anomali *free air* data insitu dan data EGM 2008 pada titik pengukuran maka EGM 2008 cukup sesuai dengan rata-rata selisih 5.727 mGal dan presentase data yang sesuai adalah 66.67%.
- e. Berdasarkan hasil *gridding* maka didapatkan nilai rata-rata perbedaan selisih 10.350 mGal dan presentase data yang sesuai 64.10%.

#### **5.2 Saran**

Dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini penulis mengajukan beberapa saran sebagai berikut.

- a. Pemilihan titik-titik pengukuran merupakan tahap yang penting. Pilih titik-titik pengukuran yang lokasinya jauh dari jalan dan keramaian serta kondisi tanah yang stabil. Pertimbangkan pula lokasi atau persebaran titik-titik tersebut.
- b. Pada saat pembacaan alat gravimeter sebaiknya dilakukan beberapa kali sehingga data bacaan yang didapatkan lebih banyak dan nilai standar deviasinya pun lebih bervariasi
- c. Pada pengolahan data GPS sebaiknya menggunakan software GAMIT/GLOBK yang merupakan software ilmiah sehingga diharapkan mendapat ketelitian yang lebih baik.
- d. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut sehingga dapat dilakukan pemodelan geoid lokal Kota Surabaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Bandung: Pradnya Paramita.
- Anjasmara,I.M. 2005. *Modul Ajar Hitung Kerangka Geodesi*. Surabaya : Teknik Geomatika.
- Anonim. 2013. *Kota Surabaya*. Surabaya : BAPPEDA Jawa Timur.
- Hoffman, B., & Moritz, H. 2005. *Physical Geodesy*. New York: SpringerWienNewYork.
- Kuswondo,dkk. 2012. *Analisis Tinggi Vertikal Sebagai Dasar Pengembangan Fasilitas Vital dan Penanggulangan Banjir (Studi Kasus : Beda Tinggi Pelabuhan Perak Dan Kampus ITS)*.ITS: Surabaya.
- Lestari.AW., Ramdani,Dadan. 2006. *Analisis Komparatif Penentuan Tinggi dengan GPS dan Sipat Datar*. Jurnal Ilmiah Geomatika Vol.12.
- Liu,H.,dkk. 2013. *Modelling and Analysis of Earth's Gravity Field Measurement Performance by Inner-Formation Flying System . Advances in Spaces Research, 451-465*.
- Maryanto, Sukir, dkk. 2016. *Pedoman Praktikum Workshop Geofisika*. Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya: Malang.
- Mikhail, Edward., Gracie Gordon. 1981. *Analysis and Adjustmment of Survey Measurements*. Van Nostrand Reinhold Company: New York.

- Osazuwa, I. B. 1988. *Cascade Model for the Removal of Drift from Gravimetric Data*. Survey Review, 29: 295-303.
- Padama, T.N.M, 2016. *Analisa Penentuan Undulasi Geoid dengan Metode Gravimetri (Studi Kasus : Surabaya)*. Departemen Teknik Geomatika ITS : Surabaya.
- Pavlis, N. K., dkk. 2012. *The Development and Evaluation of The Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. *Journal of Geophysical Research Vol 117*, 1-38.
- Rakapuri, G., dkk. 2016. *Pemodelan Geoid Lokal Universitas Diponegoro Semarang*. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 15-21.
- Ramdani, D. 2010. *Penggunaan EGM 2008, EGM 1996 dan GPS-Levelling untuk Tinggi Undulasi Geoid di Sulawesi*. Cibinong: BAKOSURTANAL.
- Ramdani, D., dkk. 2012. *Evaluasi Global Geopotensial Model untuk Perhitungan Geoid di Jakarta*. diambil kembali dari Badan Informasi Geospasial: <http://www.inageoportal.com>.
- Supriyadi. (2009). *Studi Gayaberat Relatif di Semarang*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 54-61.
- Torge, Wolfgang. 2001. *Geodesy*. Berlin: Walter de Gruyter.

**Lampiran 1. Tabel Konversi Pembacaan Gravimeter Lacoste Romberg Tipe G-1053**

<b>Counter Reading</b>	<b>Value in mGal</b>	<b>Factor Interval</b>
0	0	1.01437
100	101.44	1.04130
200	202.87	1.01423
300	304.29	1.01417
400	405.71	1.01411
500	507.12	1.01406
600	608.52	1.01398
700	709.93	1.01396
800	811.32	1.01394
900	912.72	1.01394
1000	1013.11	1.01394
1100	1115.51	1.01396
1200	1216.90	1.01398
1300	1318.30	1.01401
1400	1419.70	1.01409
1500	1521.10	1.01404
1600	1622.50	1.01409
1700	1723.91	1.01413
1800	1825.32	1.01419
1900	1929.74	1.01425
2000	2028.17	1.01431
2100	2129.60	1.01438
2200	2231.04	1.01445
2300	2332.48	1.01452
2400	2433.93	1.01460
2500	2535.39	1.01468
2600	2636.86	1.01476
2700	2738.34	1.01483

<b>Counter Reading</b>	<b>Value in mGal</b>	<b>Factor Interval</b>
2800	2839.82	1.01491
2900	2941.31	1.01499
3000	3042.81	1.01507
3100	3144.32	1.01515
3600	3651.97	1.01554
3700	3753.53	1.01561
3800	3855.09	1.01568
3900	3956.66	1.01574
4000	4058.23	1.01580
4100	4159.81	1.01586
4200	4261.40	1.01591
4300	4362.99	1.01596
4400	4464.58	1.01600
4500	4566.18	1.01604
4600	4667.79	1.01606
4700	4769.39	1.01608
4800	4871.00	1.01610
4900	4972.61	1.01610
5000	5074.22	1.01609
5100	5175.83	1.01607
5200	5277.44	1.01604
5300	5379.04	1.01599
5400	5480.64	1.01594
5500	5683.82	1.01587
5600	5785.40	1.01578
5700	5886.97	1.01569
5800	5886.97	1.01558
5900	5988.52	1.01546

**Lanjutan Lampiran 1**

Counter Reading	Value in mGal	Factor Interval		Counter Reading	Value in mGal	Factor Interval
6000	6090.07	1.01533		6400	6496.12	1.01474
6100	6191.60	1.01519		6500	6597.59	1.01459
6200	6293.12	1.01519		6600	6699.05	1.01445
6300	6394.63	1.01505				

## Lampiran 2. Data Anomali *Free Air* EGM 2008 (mGal)

Bujur	Lintang	Anomali
112.0208	-7.02083	45.74
112.0625	-7.02083	33.92
112.1042	-7.02083	25.45
112.1458	-7.02083	20.34
112.1875	-7.02083	18.54
112.2292	-7.02083	20.06
112.2708	-7.02083	21.24
112.3125	-7.02083	22.08
112.3542	-7.02083	23.85
112.3958	-7.02083	26.55
112.4375	-7.02083	27.92
112.4792	-7.02083	27.95
112.5208	-7.02083	27.93
112.5625	-7.02083	27.86
112.6042	-7.02083	27.35
112.6458	-7.02083	26.42
112.6875	-7.02083	25.17
112.7292	-7.02083	23.6
112.7708	-7.02083	24.87
112.8125	-7.02083	28.96
112.8542	-7.02083	33.48
112.8958	-7.02083	38.43
112.9375	-7.02083	43.05
112.9792	-7.02083	47.34
112.0208	-7.0625	29.51
112.0625	-7.0625	21.98
112.1042	-7.0625	17.85
112.1458	-7.0625	17.14
112.1875	-7.0625	17.58
112.2292	-7.0625	19.17
112.2708	-7.0625	19.82
112.3125	-7.0625	19.54
112.3542	-7.0625	20.17
112.3958	-7.0625	21.71
112.4375	-7.0625	23.39
112.4792	-7.0625	25.2
112.5208	-7.0625	24.98
112.5625	-7.0625	22.72

Bujur	Lintang	Anomali
112.6042	-7.0625	21.37
112.6458	-7.0625	20.93
112.6875	-7.0625	21.02
112.7292	-7.0625	21.64
112.7708	-7.0625	24.47
112.8125	-7.0625	29.53
112.8542	-7.0625	34.52
112.8958	-7.0625	39.45
112.9375	-7.0625	42.83
112.9792	-7.0625	44.66
112.0208	-7.10417	22.06
112.0625	-7.10417	17.88
112.1042	-7.10417	16.35
112.1458	-7.10417	17.47
112.1875	-7.10417	18.06
112.2292	-7.10417	18.11
112.2708	-7.10417	18.29
112.3125	-7.10417	18.58
112.3542	-7.10417	18.85
112.3958	-7.10417	19.09
112.4375	-7.10417	19.85
112.4792	-7.10417	21.12
112.5208	-7.10417	20.13
112.5625	-7.10417	16.9
112.6042	-7.10417	15.13
112.6458	-7.10417	14.81
112.6875	-7.10417	15.62
112.7292	-7.10417	17.55
112.7708	-7.10417	21.09
112.8125	-7.10417	26.22
112.8542	-7.10417	31.1
112.8958	-7.10417	35.7
112.9375	-7.10417	38.53
112.9792	-7.10417	39.6
112.0208	-7.14583	23.39
112.0625	-7.14583	21.61
112.1042	-7.14583	20.93
112.1458	-7.14583	21.34

Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.1875	-7.14583	19.99
112.2292	-7.14583	16.9
112.2708	-7.14583	16.63
112.3125	-7.14583	19.19
112.3542	-7.14583	19.88
112.3958	-7.14583	18.69
112.4375	-7.14583	17.3
112.4792	-7.14583	15.7
112.5208	-7.14583	13.4
112.5625	-7.14583	10.4
112.6042	-7.14583	8.62
112.6458	-7.14583	8.06
112.6875	-7.14583	8.97
112.7292	-7.14583	11.35
112.7708	-7.14583	14.71
112.8125	-7.14583	19.05
112.8542	-7.14583	23.21
112.8958	-7.14583	27.17
112.9375	-7.14583	30.16
112.9792	-7.14583	32.16
112.0208	-7.1875	25.13
112.0625	-7.1875	23.93
112.1042	-7.1875	23.91
112.1458	-7.1875	25.08
112.1875	-7.1875	23.6
112.2292	-7.1875	19.46
112.2708	-7.1875	18.35
112.3125	-7.1875	20.26
112.3542	-7.1875	19.69
112.3958	-7.1875	16.63
112.4375	-7.1875	13.7
112.4792	-7.1875	10.88
112.5208	-7.1875	8.09
112.5625	-7.1875	5.31
112.6042	-7.1875	3.33
112.6458	-7.1875	2.17
112.6875	-7.1875	2.72
112.7292	-7.1875	5

Bujur	Lintang	Anomali
112.7708	-7.1875	7.88
112.8125	-7.1875	11.35
112.8542	-7.1875	14.64
112.8958	-7.1875	17.74
112.9375	-7.1875	20.75
112.9792	-7.1875	23.68
112.0208	-7.22917	27.3
112.0625	-7.22917	24.82
112.1042	-7.22917	25.28
112.1458	-7.22917	28.7
112.1875	-7.22917	28.88
112.2292	-7.22917	25.8
112.2708	-7.22917	23.44
112.3125	-7.22917	21.79
112.3542	-7.22917	18.27
112.3958	-7.22917	12.9
112.4375	-7.22917	9.04
112.4792	-7.22917	6.67
112.5208	-7.22917	4.2
112.5625	-7.22917	1.63
112.6042	-7.22917	-0.73
112.6458	-7.22917	-2.88
112.6875	-7.22917	-3.13
112.7292	-7.22917	-1.5
112.7708	-7.22917	0.58
112.8125	-7.22917	3.12
112.8542	-7.22917	5.39
112.8958	-7.22917	7.39
112.9375	-7.22917	10.32
112.9792	-7.22917	14.18
112.0208	-7.27083	27.13
112.0625	-7.27083	25.44
112.1042	-7.27083	25.98
112.1458	-7.27083	28.75
112.1875	-7.27083	28.53
112.2292	-7.27083	25.32
112.2708	-7.27083	21.9
112.3125	-7.27083	18.26



## Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.3542	-7.27083	13.54
112.3958	-7.27083	7.72
112.4375	-7.27083	3.82
112.4792	-7.27083	1.84
112.5208	-7.27083	-0.91
112.5625	-7.27083	-4.43
112.6042	-7.27083	-7.44
112.6458	-7.27083	-9.94
112.6875	-7.27083	-10.72
112.7292	-7.27083	-9.77
112.7708	-7.27083	-7.96
112.8125	-7.27083	-5.29
112.8542	-7.27083	-2.41
112.8958	-7.27083	0.68
112.9375	-7.27083	3.63
112.9792	-7.27083	6.43
112.0208	-7.3125	24.6
112.0625	-7.3125	25.79
112.1042	-7.3125	25.99
112.1458	-7.3125	25.22
112.1875	-7.3125	22.57
112.2292	-7.3125	18.03
112.2708	-7.3125	13.74
112.3125	-7.3125	9.69
112.3542	-7.3125	5.47
112.3958	-7.3125	1.08
112.4375	-7.3125	-1.94
112.4792	-7.3125	-3.6
112.5208	-7.3125	-7.24
112.5625	-7.3125	-12.86
112.6042	-7.3125	-16.79
112.6458	-7.3125	-19.03
112.6875	-7.3125	-20.03
112.7292	-7.3125	-19.78
112.7708	-7.3125	-17.73
112.8125	-7.3125	-13.88
112.8542	-7.3125	-8.76
112.8958	-7.3125	-2.4

Bujur	Lintang	Anomali
112.9375	-7.3125	0.67
112.9792	-7.3125	0.45
112.0208	-7.35417	20.49
112.0625	-7.35417	21.86
112.1042	-7.35417	20.66
112.1458	-7.35417	16.89
112.1875	-7.35417	12.69
112.2292	-7.35417	8.07
112.2708	-7.35417	4.13
112.3125	-7.35417	0.9
112.3542	-7.35417	-2.2
112.3958	-7.35417	-5.17
112.4375	-7.35417	-7.36
112.4792	-7.35417	-8.78
112.5208	-7.35417	-12.18
112.5625	-7.35417	-17.56
112.6042	-7.35417	-21.28
112.6458	-7.35417	-23.34
112.6875	-7.35417	-25.01
112.7292	-7.35417	-26.27
112.7708	-7.35417	-25.19
112.8125	-7.35417	-21.76
112.8542	-7.35417	-16.63
112.8958	-7.35417	-9.79
112.9375	-7.35417	-6.89
112.9792	-7.35417	-7.93
112.0208	-7.39583	14.79
112.0625	-7.39583	13.65
112.1042	-7.39583	9.97
112.1458	-7.39583	3.74
112.1875	-7.39583	-1.1
112.2292	-7.39583	-4.57
112.2708	-7.39583	-6.9
112.3125	-7.39583	-8.1
112.3542	-7.39583	-9.48
112.3958	-7.39583	-11.02
112.4375	-7.39583	-12.42
112.4792	-7.39583	-13.68

Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.5208	-7.39583	-15.72
112.5625	-7.39583	-18.53
112.6042	-7.39583	-20.92
112.6458	-7.39583	-22.88
112.6875	-7.39583	-25.65
112.7292	-7.39583	-29.22
112.7708	-7.39583	-30.32
112.8125	-7.39583	-28.95
112.8542	-7.39583	-26.01
112.8958	-7.39583	-21.49
112.9375	-7.39583	-19.06
112.9792	-7.39583	-18.72
112.0208	-7.4375	2.71
112.0625	-7.4375	0.02
112.1042	-7.4375	-4.26
112.1458	-7.4375	-10.14
112.1875	-7.4375	-13.99
112.2292	-7.4375	-15.82
112.2708	-7.4375	-16.81
112.3125	-7.4375	-16.95
112.3542	-7.4375	-16.37
112.3958	-7.4375	-15.06
112.4375	-7.4375	-14.57
112.4792	-7.4375	-14.9
112.5208	-7.4375	-16.33
112.5625	-7.4375	-18.85
112.6042	-7.4375	-21.97
112.6458	-7.4375	-25.68
112.6875	-7.4375	-29.44
112.7292	-7.4375	-33.24
112.7708	-7.4375	-34.17
112.8125	-7.4375	-32.21
112.8542	-7.4375	-30.01
112.8958	-7.4375	-27.57
112.9375	-7.4375	-26.09
112.9792	-7.4375	-25.57
112.0208	-7.47917	-15.76
112.0625	-7.47917	-19.03

Bujur	Lintang	Anomali
112.1042	-7.47917	-22.03
112.1458	-7.47917	-24.75
112.1875	-7.47917	-25.97
112.2292	-7.47917	-25.7
112.2708	-7.47917	-25.59
112.3125	-7.47917	-25.65
112.3542	-7.47917	-22.88
112.3958	-7.47917	-17.27
112.4375	-7.47917	-13.79
112.4792	-7.47917	-12.44
112.5208	-7.47917	-14.01
112.5625	-7.47917	-18.5
112.6042	-7.47917	-24.41
112.6458	-7.47917	-31.73
112.6875	-7.47917	-36.37
112.7292	-7.47917	-38.34
112.7708	-7.47917	-36.73
112.8125	-7.47917	-31.53
112.8542	-7.47917	-28.63
112.8958	-7.47917	-28.03
112.9375	-7.47917	-27.99
112.9792	-7.47917	-28.5
112.0208	-7.52083	-30.58
112.0625	-7.52083	-32.98
112.1042	-7.52083	-34.59
112.1458	-7.52083	-35.43
112.1875	-7.52083	-34.03
112.2292	-7.52083	-30.39
112.2708	-7.52083	-27.46
112.3125	-7.52083	-25.22
112.3542	-7.52083	-20.02
112.3958	-7.52083	-11.85
112.4375	-7.52083	-6.96
112.4792	-7.52083	-5.33
112.5208	-7.52083	-5.88
112.5625	-7.52083	-8.62
112.6042	-7.52083	-14.53
112.6458	-7.52083	-23.61

## Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.6875	-7.52083	-30.51
112.7292	-7.52083	-35.21
112.7708	-7.52083	-36.09
112.8125	-7.52083	-33.15
112.8542	-7.52083	-31.82
112.8958	-7.52083	-32.09
112.9375	-7.52083	-32.91
112.9792	-7.52083	-34.28
112.0208	-7.5625	-41.78
112.0625	-7.5625	-41.82
112.1042	-7.5625	-41.95
112.1458	-7.5625	-42.17
112.1875	-7.5625	-38.16
112.2292	-7.5625	-29.91
112.2708	-7.5625	-22.42
112.3125	-7.5625	-15.67
112.3542	-7.5625	-7.8
112.3958	-7.5625	1.2
112.4375	-7.5625	5.95
112.4792	-7.5625	6.44
112.5208	-7.5625	8.06
112.5625	-7.5625	10.81
112.6042	-7.5625	7.67
112.6458	-7.5625	-1.34
112.6875	-7.5625	-11.85
112.7292	-7.5625	-23.85
112.7708	-7.5625	-32.25
112.8125	-7.5625	-37.07
112.8542	-7.5625	-39.57
112.8958	-7.5625	-39.74
112.9375	-7.5625	-40.86
112.9792	-7.5625	-42.92
112.0208	-7.60417	-44.37
112.0625	-7.60417	-44.5
112.1042	-7.60417	-43.47
112.1458	-7.60417	-41.29
112.1875	-7.60417	-34.97
112.2292	-7.60417	-24.51

Bujur	Lintang	Anomali
112.2708	-7.60417	-14.22
112.3125	-7.60417	-4.09
112.3542	-7.60417	7.8
112.3958	-7.60417	21.45
112.4375	-7.60417	29.31
112.4792	-7.60417	31.39
112.5208	-7.60417	36.51
112.5625	-7.60417	44.68
112.6042	-7.60417	39.59
112.6458	-7.60417	21.24
112.6875	-7.60417	3.42
112.7292	-7.60417	-13.87
112.7708	-7.60417	-25
112.8125	-7.60417	-29.97
112.8542	-7.60417	-34.13
112.8958	-7.60417	-37.46
112.9375	-7.60417	-40.48
112.9792	-7.60417	-43.18
112.0208	-7.64583	-38.38
112.0625	-7.64583	-41.03
112.1042	-7.64583	-39.17
112.1458	-7.64583	-32.78
112.1875	-7.64583	-24.45
112.2292	-7.64583	-14.18
112.2708	-7.64583	-2.86
112.3125	-7.64583	9.51
112.3542	-7.64583	26.76
112.3958	-7.64583	48.88
112.4375	-7.64583	63.14
112.4792	-7.64583	69.53
112.5208	-7.64583	79.48
112.5625	-7.64583	93
112.6042	-7.64583	81.21
112.6458	-7.64583	44.12
112.6875	-7.64583	15.3
112.7292	-7.64583	-5.27
112.7708	-7.64583	-14.32
112.8125	-7.64583	-11.86

Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.8542	-7.64583	-15.5
112.8958	-7.64583	-25.25
112.9375	-7.64583	-31.77
112.9792	-7.64583	-35.06
112.0208	-7.6875	-30.86
112.0625	-7.6875	-34.04
112.1042	-7.6875	-31.18
112.1458	-7.6875	-22.29
112.1875	-7.6875	-13.08
112.2292	-7.6875	-3.57
112.2708	-7.6875	10
112.3125	-7.6875	27.63
112.3542	-7.6875	55.8
112.3958	-7.6875	94.51
112.4375	-7.6875	121.58
112.4792	-7.6875	136.99
112.5208	-7.6875	153.71
112.5625	-7.6875	171.73
112.6042	-7.6875	149.81
112.6458	-7.6875	87.95
112.6875	-7.6875	40.32
112.7292	-7.6875	6.92
112.7708	-7.6875	-6.65
112.8125	-7.6875	-0.42
112.8542	-7.6875	-4.89
112.8958	-7.6875	-20.08
112.9375	-7.6875	-26.79
112.9792	-7.6875	-25.01
112.0208	-7.72917	-21.82
112.0625	-7.72917	-23.52
112.1042	-7.72917	-19.51
112.1458	-7.72917	-9.8
112.1875	-7.72917	-0.86
112.2292	-7.72917	7.32
112.2708	-7.72917	24.36
112.3125	-7.72917	50.25
112.3542	-7.72917	94.92
112.3958	-7.72917	158.35

Bujur	Lintang	Anomali
112.4375	-7.72917	204.64
112.4792	-7.72917	233.79
112.5208	-7.72917	259.21
112.5625	-7.72917	280.9
112.6042	-7.72917	245.4
112.6458	-7.72917	152.71
112.6875	-7.72917	78.49
112.7292	-7.72917	22.72
112.7708	-7.72917	-1.99
112.8125	-7.72917	4.36
112.8542	-7.72917	-2.29
112.8958	-7.72917	-21.94
112.9375	-7.72917	-25.51
112.9792	-7.72917	-13.01
112.0208	-7.77083	-9.26
112.0625	-7.77083	-8.56
112.1042	-7.77083	-4.36
112.1458	-7.77083	3.37
112.1875	-7.77083	13.14
112.2292	-7.77083	24.98
112.2708	-7.77083	42.84
112.3125	-7.77083	66.73
112.3542	-7.77083	113.44
112.3958	-7.77083	182.97
112.4375	-7.77083	232.04
112.4792	-7.77083	260.63
112.5208	-7.77083	283.37
112.5625	-7.77083	300.25
112.6042	-7.77083	263.64
112.6458	-7.77083	173.51
112.6875	-7.77083	100.76
112.7292	-7.77083	45.38
112.7708	-7.77083	22.11
112.8125	-7.77083	30.96
112.8542	-7.77083	28.35
112.8958	-7.77083	14.29
112.9375	-7.77083	12.33
112.9792	-7.77083	22.48

## Lanjutan Lampiran 2

Bujur	Lintang	Anomali
112.0208	-7.8125	6.81
112.0625	-7.8125	10.83
112.1042	-7.8125	14.3
112.1458	-7.8125	17.22
112.1875	-7.8125	28.92
112.2292	-7.8125	49.4
112.2708	-7.8125	65.44
112.3125	-7.8125	77.04
112.3542	-7.8125	111.36
112.3958	-7.8125	168.39
112.4375	-7.8125	203.78
112.4792	-7.8125	217.52
112.5208	-7.8125	226.19
112.5625	-7.8125	229.81
112.6042	-7.8125	204.53
112.6458	-7.8125	150.34
112.6875	-7.8125	107.13
112.7292	-7.8125	74.9
112.7708	-7.8125	65.65
112.8125	-7.8125	79.38
112.8542	-7.8125	87.04
112.8958	-7.8125	88.61
112.9375	-7.8125	86.75
112.9792	-7.8125	81.46
112.0208	-7.85417	19.83
112.0625	-7.85417	26.3
112.1042	-7.85417	29.57
112.1458	-7.85417	29.65
112.1875	-7.85417	45.43
112.2292	-7.85417	76.92
112.2708	-7.85417	93.8
112.3125	-7.85417	96.07
112.3542	-7.85417	123.39
112.3958	-7.85417	175.74
112.4375	-7.85417	205.39
112.4792	-7.85417	212.34
112.5208	-7.85417	202.98
112.5625	-7.85417	177.3

Bujur	Lintang	Anomali
112.6042	-7.85417	151.46
112.6458	-7.85417	125.45
112.6875	-7.85417	107.31
112.7292	-7.85417	97.02
112.7708	-7.85417	102.08
112.8125	-7.85417	122.48
112.8542	-7.85417	147.67
112.8958	-7.85417	177.65
112.9375	-7.85417	185.39
112.9792	-7.85417	170.89
112.0208	-7.89583	29.82
112.0625	-7.89583	37.86
112.1042	-7.89583	41.47
112.1458	-7.89583	40.65
112.1875	-7.89583	62.68
112.2292	-7.89583	107.54
112.2708	-7.89583	127.92
112.3125	-7.89583	123.82
112.3542	-7.89583	149.53
112.3958	-7.89583	205.03
112.4375	-7.89583	236.89
112.4792	-7.89583	245.1
112.5208	-7.89583	213.72
112.5625	-7.89583	142.73
112.6042	-7.89583	104.44
112.6458	-7.89583	98.84
112.6875	-7.89583	101.28
112.7292	-7.89583	111.75
112.7708	-7.89583	131.4
112.8125	-7.89583	160.25
112.8542	-7.89583	210.25
112.8958	-7.89583	281.4
112.9375	-7.89583	308.24
112.9792	-7.89583	290.77
112.0208	-7.9375	41.69
112.0625	-7.9375	50.48
112.1042	-7.9375	54.14
112.1458	-7.9375	52.68

**Lanjutan Lampiran 2**

Bujur	Lintang	Anomali
112.1875	-7.9375	75.17
112.2292	-7.9375	121.62
112.2708	-7.9375	140.47
112.3125	-7.9375	131.71
112.3542	-7.9375	153.7
112.3958	-7.9375	206.44
112.4375	-7.9375	239.79
112.4792	-7.9375	253.75
112.5208	-7.9375	216.31
112.5625	-7.9375	127.44
112.6042	-7.9375	86.07
112.6458	-7.9375	92.18
112.6875	-7.9375	101.39
112.7292	-7.9375	113.69
112.7708	-7.9375	137.37
112.8125	-7.9375	172.43
112.8542	-7.9375	238.58
112.8958	-7.9375	335.83
112.9375	-7.9375	372.27
112.9792	-7.9375	347.9
112.0208	-7.97917	55.43
112.0625	-7.97917	64.15
112.1042	-7.97917	67.58

Bujur	Lintang	Anomali
112.1458	-7.97917	65.72
112.1875	-7.97917	82.92
112.2292	-7.97917	119.17
112.2708	-7.97917	131.44
112.3125	-7.97917	119.73
112.3542	-7.97917	135.9
112.3958	-7.97917	179.96
112.4375	-7.97917	214.08
112.4792	-7.97917	238.29
112.5208	-7.97917	210.74
112.5625	-7.97917	131.45
112.6042	-7.97917	96.35
112.6458	-7.97917	105.46
112.6875	-7.97917	107.63
112.7292	-7.97917	102.86
112.7708	-7.97917	119.99
112.8125	-7.97917	159.01
112.8542	-7.97917	232.66
112.8958	-7.97917	340.92
112.9375	-7.97917	377.46
112.9792	-7.97917	342.29
112.7708	-7.97917	119.99
112.8125	-7.97917	159.01

**Lampiran 3. Data Anomali *Free Air* Pengukuran Tahun 2016  
(Padama, 2016)**

<b>No</b>	<b>Stasiun</b>	<b>Lintang (°LS)</b>	<b>Bujur (°BT)</b>	<b>Anomali (mGal)</b>
1	BM18	7.29016	112.78615	-5.7049
2	BM20	7.33077	112.82159	-15.8222
3	BM19	7.30955	112.82299	-13.0318
4	BM15	7.23513	112.79484	1.5962
5	BM14	7.23053	112.7753	2.5095
6	BM07	7.22573	112.69537	13.4050
7	BM06	7.26834	112.66627	1.9030
8	BM04	7.24555	112.63569	-2.1142
9	BM08	7.26396	112.69276	-4.2048
10	BM12	7.25752	112.71321	-3.0406

#### Lampiran 4. Data Selisih Anomali *Free Air*

EGM	Insitu	Selisih
10.4478	-26.3621	36.8099
9.9701	-24.7489	34.7190
9.4537	-23.1269	32.5806
8.9721	-21.4825	30.4545
8.5517	-19.7970	28.3487
8.1937	-18.0481	26.2418
7.8618	-16.2125	24.0743
7.6105	-14.2686	21.8791
7.4598	-12.2012	19.6610
7.4144	-10.0050	17.4195
7.4626	-7.6900	15.1526
7.5563	-5.2846	12.8409
7.7454	-2.8368	10.5823
8.0422	-0.4114	8.4536
8.4398	1.9188	6.5210
8.9104	4.0869	4.8235
9.4616	6.0474	3.4142
10.0852	7.7873	2.2979
10.7678	9.3269	1.4409
11.4933	10.7129	0.7804
12.2638	12.0056	0.2582
13.0831	13.2676	0.1845
13.9634	14.5543	0.5910
14.9403	15.9084	0.9682
15.9612	17.3571	1.3959
16.9975	18.9124	1.9149
18.0309	20.5737	2.5429
19.0522	22.3319	3.2796
20.0495	24.1722	4.1227
21.0207	26.0781	5.0574
21.9761	28.0329	6.0568
22.9534	30.0219	7.0685
23.9138	32.0323	8.1185
24.8443	34.0546	9.2103
25.7424	36.0820	10.3396
26.6143	38.1106	11.4963
9.1616	-23.2700	32.4316
8.6744	-21.8751	30.5496

EGM	Insitu	Selisih
8.1778	-20.4719	28.6497
7.7024	-19.0469	26.7493
7.2682	-17.5807	24.8489
6.8837	-16.0498	22.9335
6.5463	-14.4275	20.9738
6.2791	-12.6864	18.9655
6.0960	-10.8023	16.8983
6.0042	-8.7593	14.7635
6.0031	-6.5572	12.5603
6.0819	-4.2195	10.3015
6.2586	-1.8000	8.0586
6.5398	0.6152	5.9246
6.9219	2.9152	4.0068
7.3921	4.9890	2.4031
7.9429	6.7616	1.1813
8.5612	8.2208	0.3404
9.2324	9.4140	0.1816
9.9444	10.4253	0.4809
10.6969	11.3487	0.6518
11.4952	12.2690	0.7738
12.3502	13.2527	0.9024
13.2746	14.3443	1.0697
14.2416	15.5673	1.3257
15.2264	16.9261	1.6997
16.2100	18.4113	2.2013
17.1803	20.0065	2.8262
18.1297	21.6920	3.5623
19.0577	23.4484	4.3907
19.9702	25.2574	5.2872
20.8811	27.1034	6.2223
21.7803	28.9732	7.1930
22.6637	30.8566	8.1929
23.5318	32.7461	9.2144
24.3889	34.6375	10.2486
7.9140	-20.1798	28.0938
7.4240	-19.0036	26.4276
6.9388	-17.8194	24.7581
6.4654	-16.6140	23.0794



#### Lampiran 4. Data Selisih Anomali *Free Air*

EGM	Insitu	Selisih
10.4478	-26.3621	36.8099
9.9701	-24.7489	34.7190
9.4537	-23.1269	32.5806
8.9721	-21.4825	30.4545
8.5517	-19.7970	28.3487
8.1937	-18.0481	26.2418
7.8618	-16.2125	24.0743
7.6105	-14.2686	21.8791
7.4598	-12.2012	19.6610
7.4144	-10.0050	17.4195
7.4626	-7.6900	15.1526
7.5563	-5.2846	12.8409
7.7454	-2.8368	10.5823
8.0422	-0.4114	8.4536
8.4398	1.9188	6.5210
8.9104	4.0869	4.8235
9.4616	6.0474	3.4142
10.0852	7.7873	2.2979
10.7678	9.3269	1.4409
11.4933	10.7129	0.7804
12.2638	12.0056	0.2582
13.0831	13.2676	0.1845
13.9634	14.5543	0.5910
14.9403	15.9084	0.9682
15.9612	17.3571	1.3959
16.9975	18.9124	1.9149
18.0309	20.5737	2.5429
19.0522	22.3319	3.2796
20.0495	24.1722	4.1227
21.0207	26.0781	5.0574
21.9761	28.0329	6.0568
22.9534	30.0219	7.0685
23.9138	32.0323	8.1185
24.8443	34.0546	9.2103
25.7424	36.0820	10.3396
26.6143	38.1106	11.4963
9.1616	-23.2700	32.4316
8.6744	-21.8751	30.5496

EGM	Insitu	Selisih
8.1778	-20.4719	28.6497
7.7024	-19.0469	26.7493
7.2682	-17.5807	24.8489
6.8837	-16.0498	22.9335
6.5463	-14.4275	20.9738
6.2791	-12.6864	18.9655
6.0960	-10.8023	16.8983
6.0042	-8.7593	14.7635
6.0031	-6.5572	12.5603
6.0819	-4.2195	10.3015
6.2586	-1.8000	8.0586
6.5398	0.6152	5.9246
6.9219	2.9152	4.0068
7.3921	4.9890	2.4031
7.9429	6.7616	1.1813
8.5612	8.2208	0.3404
9.2324	9.4140	0.1816
9.9444	10.4253	0.4809
10.6969	11.3487	0.6518
11.4952	12.2690	0.7738
12.3502	13.2527	0.9024
13.2746	14.3443	1.0697
14.2416	15.5673	1.3257
15.2264	16.9261	1.6997
16.2100	18.4113	2.2013
17.1803	20.0065	2.8262
18.1297	21.6920	3.5623
19.0577	23.4484	4.3907
19.9702	25.2574	5.2872
20.8811	27.1034	6.2223
21.7803	28.9732	7.1930
22.6637	30.8566	8.1929
23.5318	32.7461	9.2144
24.3889	34.6375	10.2486
7.9140	-20.1798	28.0938
7.4240	-19.0036	26.4276
6.9388	-17.8194	24.7581
6.4654	-16.6140	23.0794

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
6.0161	-15.3683	21.3844
5.6076	-14.0581	19.6656
5.2582	-12.6542	17.9124
4.9720	-11.1237	16.0957
4.7544	-9.4325	14.1869
4.6151	-7.5521	12.1672
4.5673	-5.4685	10.0358
4.6238	-3.1955	7.8193
4.7845	-0.7876	5.5721
5.0479	1.6478	3.4001
5.4143	3.9537	1.4606
5.8816	5.9573	0.0758
6.4316	7.5412	1.1096
7.0447	8.6972	1.6525
7.7042	9.5133	1.8091
8.3991	10.1235	1.7244
9.1290	10.6612	1.5321
9.8999	11.2332	1.3333
10.7210	11.9140	1.1930
11.5982	12.7480	1.1498
12.5146	13.7529	1.2384
13.4490	14.9228	1.4738
14.3823	16.2380	1.8557
15.3000	17.6740	2.3741
16.1993	19.2068	3.0075
17.0806	20.8146	3.7340
17.9441	22.4782	4.5341
18.7905	24.1816	5.3910
19.6274	25.9110	6.2837
20.4614	27.6559	7.1945
21.2961	29.4081	8.1120
22.1319	31.1627	9.0308
6.7498	-17.0963	23.8460
6.2537	-16.1394	22.3931
5.7758	-15.1746	20.9504
5.3000	-14.1894	19.4894
4.8302	-13.1659	17.9961
8.6744	-21.8751	30.5496

EGM	Insitu	Selish
4.0279	-10.9052	14.9330
3.7191	-9.6004	13.3196
3.4624	-8.1226	11.5849
3.2707	-6.4267	9.6974
3.1705	-4.4794	7.6499
3.2024	-2.2750	5.4774
3.3426	0.1418	3.2009
3.5822	2.6491	0.9331
3.9259	5.0301	1.1042
4.3887	7.0111	2.6224
4.9359	8.4005	3.4646
5.5411	9.2060	3.6650
6.1855	9.5878	3.4023
6.8572	9.7546	2.8975
7.5572	9.8868	2.3296
8.2921	10.1093	1.8173
9.0711	10.4968	1.4257
9.9030	11.0882	1.1852
10.7707	11.8931	1.1223
11.6554	12.8903	1.2349
12.5378	14.0467	1.5088
13.3983	15.3298	1.9315
14.2426	16.7126	2.4700
15.0734	18.1726	3.0992
15.8854	19.6910	3.8056
16.6630	21.2518	4.5888
17.4335	22.8414	5.4079
18.2134	24.4485	6.2351
19.0099	26.0643	7.0544
19.8208	27.6831	7.8623
5.7106	-14.0276	19.7381
5.1974	-13.2913	18.4887
4.7244	-12.5465	17.2709
4.2413	-11.7816	16.0229
3.7467	-10.9816	14.7283
3.2647	-10.1269	13.3916
2.8873	-9.1904	12.0777
2.5477	-8.1326	10.6803

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
2.2453	-6.8990	9.1443
1.9970	-5.4254	7.4224
1.8343	-3.6518	5.4861
1.8423	-1.5417	3.3840
1.9554	0.8912	1.0642
2.1626	3.5328	1.3702
2.4707	6.0986	3.6279
2.9258	8.1362	5.2104
3.4621	9.3105	5.8484
4.0512	9.6814	5.6302
4.6740	9.5449	4.8708
5.3146	9.2219	3.9073
5.9776	8.9437	2.9661
6.6694	8.8376	2.1683
7.3988	8.9615	1.5627
8.1844	9.3402	1.1557
9.0015	9.9769	0.9755
9.8337	10.8262	0.9925
10.6636	11.8379	1.1744
11.4595	12.9742	1.5147
12.2424	14.2080	1.9656
13.0171	15.5193	2.5022
13.7777	16.8914	3.1137
14.4796	18.3093	3.8297
15.1804	19.7594	4.5790
15.8992	21.2297	5.3305
16.6461	22.7105	6.0644
17.4240	24.1949	-6.7710
4.8242	-10.9848	15.8090
4.3057	-10.4715	14.7772
3.8053	-9.9478	13.7531
3.3030	-9.4027	12.7057
2.7964	-8.8249	11.6213
2.3035	-8.2017	10.5052
1.8657	-7.5142	9.3799
1.4663	-6.7267	8.1930
1.1102	-5.7761	6.8863
0.8179	-4.5775	5.3954

EGM	Insitu	Selish
0.6226	-3.0401	3.6627
0.5693	-1.0877	1.6570
0.6344	1.3259	0.6915
0.8076	4.1510	3.3434
1.0936	7.0668	5.9732
1.5069	9.2928	7.7859
2.0086	10.1908	8.1822
2.5666	9.9839	7.4173
3.1563	9.2210	6.0647
3.7609	8.3807	4.6198
4.3831	7.7298	3.3466
5.0312	7.3616	2.3305
5.7148	7.2849	1.5701
6.4427	7.4980	1.0553
7.2000	8.0147	0.8147
7.9694	8.7453	0.7758
8.7323	9.6235	0.8911
9.4691	10.6131	1.1439
10.1874	11.6941	1.5067
10.8911	12.8525	1.9613
11.5757	14.0754	2.4997
12.2251	15.3492	3.1241
12.8665	16.6602	3.7937
13.5163	17.9950	4.4787
14.1826	19.3426	5.1600
14.8642	20.6948	5.8306
4.0146	-7.9820	11.9966
3.4786	-7.6967	11.1753
2.9490	-7.3968	10.3458
2.4243	-7.0704	9.4947
1.9038	-6.7098	8.6136
1.3905	-6.3121	7.7026
0.8918	-5.8744	6.7663
0.4242	-5.3754	5.7997
0.0086	-4.7464	4.7551
-0.3309	-3.8817	3.5508
-0.5677	-2.6606	2.0929
-0.6782	-0.9772	0.2990

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-0.6654	1.2934	1.9588
-0.5336	4.2716	4.8052
-0.2824	7.7715	8.0539
0.0871	10.4098	10.3227
0.5480	10.8674	10.3194
1.0691	9.8588	8.7896
1.6212	8.3622	6.7410
2.1826	7.0422	4.8596
2.7581	6.1412	3.3831
3.3582	5.6522	2.2939
3.9923	5.4884	1.4960
4.6644	5.5964	0.9320
5.3630	6.0543	0.6914
6.0714	6.6856	0.6142
6.7712	7.4257	0.6545
7.4467	8.2566	0.8098
8.0997	9.1728	1.0731
8.7339	10.1697	1.4358
9.3504	11.2387	1.8884
9.9482	12.3671	2.4189
10.5344	13.5397	3.0052
11.1154	14.7411	3.6257
11.6954	15.9580	4.2626
12.2771	17.1806	4.9035
3.1939	-5.0347	8.2286
2.6335	-4.9876	7.6211
2.0715	-4.9185	6.9900
1.5215	-4.8116	6.3331
0.9851	-4.6599	5.6450
0.4498	-4.4710	4.9208
-0.1121	-4.2664	4.1542
-0.6495	-4.0591	3.4096
-1.1255	-3.7759	2.6504
-1.5144	-3.2902	1.7758
-1.7964	-2.4481	0.6516
-1.9592	-1.1675	0.7917
-1.9975	0.7119	2.7094
-1.9115	3.5779	5.4895

EGM	Insitu	Selish
-1.7027	7.9109	9.6136
-1.3761	11.3143	12.6904
-0.9557	10.9440	11.8997
-0.4709	8.8710	9.3419
0.0452	6.6220	6.5768
0.5571	5.0070	4.4500
1.0814	4.1093	3.0279
1.6320	3.7373	2.1053
2.2169	3.6767	1.4597
2.8397	3.7670	0.9274
3.4877	4.2028	0.7151
4.1448	4.7028	0.5579
4.7923	5.2678	0.4755
5.4118	5.9110	0.4992
6.0068	6.6427	0.6359
6.5821	7.4665	0.8843
7.1437	8.3765	1.2328
7.7009	9.3588	1.6579
8.2438	10.3951	2.1513
8.7674	11.4664	2.6989
9.2710	12.5561	3.2851
9.7602	13.6524	3.8922
2.2756	-2.1582	4.4338
1.6877	-2.3679	4.0556
1.0868	-2.5452	3.6319
0.5063	-2.6659	3.1721
-0.0502	-2.7178	2.6676
-0.6009	-2.7119	2.1111
-1.2301	-2.6969	1.4668
-1.8302	-2.7576	0.9273
-2.3587	-2.8103	0.4516
-2.7914	-2.7117	0.0797
-3.1141	-2.2226	0.8915
-3.3234	-1.3907	1.9327
-3.4087	-0.1699	3.2389
-3.3681	1.9117	5.2798
-3.2045	6.8993	10.1037
-2.9201	11.2685	14.1886

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-2.5408	9.4983	12.0391
-2.0920	6.4000	8.4921
-1.6069	3.6569	5.2637
-1.1478	2.1780	3.3258
-0.6717	1.6686	2.3403
-0.1652	1.7001	1.8653
0.3772	2.0247	1.6475
0.9613	2.4955	1.5342
1.5703	2.5918	1.0215
2.1896	2.8168	0.6272
2.8012	3.1462	0.3450
3.3781	3.5679	0.1897
3.9323	4.0944	0.1621
4.4687	4.7347	0.2660
4.9945	5.4831	0.4886
5.5341	6.3217	0.7876
6.0564	7.2262	1.1698
6.5489	8.1721	1.6232
7.0046	9.1391	2.1345
7.4229	10.1130	2.6901
1.1820	0.6359	0.5462
0.5514	0.1396	0.4118
-0.0821	-0.3128	0.2307
-0.6988	-0.6857	0.0130
-1.2976	-0.9537	0.3439
-1.9027	-1.1152	0.7874
-2.5532	-1.2225	1.3307
-3.1846	-1.4808	1.7038
-3.7465	-1.7911	1.9554
-4.2108	-2.0558	2.1550
-4.5668	-1.7446	2.8222
-4.8127	-1.1690	3.6437
-4.9375	-0.3912	4.5463
-4.9359	0.9972	5.9331
-4.8116	3.8347	8.6463
-4.5747	6.1564	10.7311
-4.2430	4.9228	9.1658
-3.8411	2.0951	5.9362

EGM	Insitu	Selish
-3.4045	-0.5026	2.9020
-2.9734	-1.1821	1.7912
-2.5266	-0.9329	1.5937
-2.0476	-0.4249	1.6227
-1.5305	0.1185	1.6490
-0.9762	0.5860	1.5622
-0.3950	0.7239	1.1189
0.1993	0.8707	0.6713
0.7878	1.0102	0.2224
1.3508	1.2034	0.1474
1.8934	1.5123	0.3811
2.4243	1.9645	0.4598
2.9540	2.5544	0.3996
3.4938	3.2563	0.2375
4.0228	4.0368	0.0140
4.5251	4.8639	0.3388
4.9961	5.7128	0.7167
5.4463	6.5679	1.1216
-0.1079	3.3432	3.4511
-0.7823	2.5195	3.3018
-1.4577	1.7481	3.2058
-2.1153	1.0759	3.1913
-2.7539	0.5434	3.2972
-3.3983	0.1700	3.5682
-4.0776	-0.0759	4.0016
-4.7360	-0.3175	4.4185
-5.3202	-0.6489	4.6713
-5.8022	-1.2509	4.5514
-6.1781	-0.9045	5.2736
-6.4555	-0.4994	5.9561
-6.6151	-0.3174	6.2977
-6.6466	-0.2757	6.3709
-6.5576	0.2269	6.7845
-6.3670	0.9948	7.3618
-6.0819	0.0150	6.0969
-5.7213	-2.3121	3.4092
-5.3212	-4.6736	0.6476
-4.9191	-4.0954	0.8237

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-4.4955	-3.0353	1.4602
-4.0317	-2.2284	1.8033
-3.5250	-1.6481	1.8768
-2.9847	-1.1898	1.7948
-2.4135	-1.0012	1.4124
-1.8223	-0.9997	0.8227
-1.2309	-1.1079	0.1230
-0.6595	-1.1874	0.5279
-0.1029	-1.1154	1.0124
0.4497	-0.8510	1.3007
1.0108	-0.4088	1.4196
1.5882	0.1695	1.4187
2.1608	0.8368	1.3240
2.7096	1.5524	1.1572
3.2294	2.2872	0.9422
3.7326	3.0254	0.7071
-1.6077	5.9706	7.5783
-2.3252	4.7718	7.0970
-3.0533	3.6280	6.6813
-3.7557	2.5944	6.3501
-4.4245	1.7302	6.1546
-5.0889	1.0906	6.1794
-5.8097	0.7132	6.5228
-6.4991	0.5996	7.0986
-7.0991	0.6724	7.7714
-7.5854	0.2404	7.8258
-7.9652	0.4113	8.3765
-8.2734	0.6280	8.9014
-8.4652	0.2583	8.7235
-8.5234	-1.1497	7.3737
-8.4611	-2.6963	5.7648
-8.3175	-2.6461	5.6713
-8.0757	-3.3178	4.7579
-7.7449	-4.6770	3.0680
-7.3642	-5.7338	1.6304
-6.9952	-5.0927	1.9025
-6.5923	-3.9684	2.6239
-6.1318	-3.4043	2.7275

EGM	Insitu	Selish
-5.6174	-3.0919	2.5255
-5.0756	-2.6825	2.3931
-4.4943	-2.5274	1.9669
-3.8799	-2.7526	1.1273
-3.2549	-3.2018	0.0531
-2.6518	-3.6211	0.9693
-2.0558	-3.8021	1.7463
-1.4545	-3.7128	2.2584
-0.8345	-3.3965	2.5621
-0.1786	-2.9221	2.7436
0.4776	-2.3551	2.8327
1.1079	-1.7453	2.8533
1.7017	-1.1240	2.8257
2.2678	-0.5047	2.7726
-3.3296	8.5377	11.8673
-4.0866	6.9171	11.0037
-4.8787	5.3455	10.2242
-5.6322	3.8794	9.5116
-6.3309	2.5904	8.9213
-6.9968	1.5616	8.5584
-7.7700	0.8775	8.6475
-8.4847	0.5945	9.0791
-9.0915	0.6654	9.7569
-9.5737	0.8156	10.3893
-9.9412	1.3230	11.2642
-10.2832	1.7356	12.0188
-10.5024	1.3194	11.8218
-10.5814	-0.8463	9.7351
-10.5349	-2.9881	7.5468
-10.4423	-4.0457	6.3966
-10.2412	-4.9047	5.3366
-9.9341	-5.7191	4.2150
-9.5553	-6.0286	3.5267
-9.2240	-5.3255	3.8985
-8.8338	-4.2338	4.6001
-8.3632	-4.2001	4.1630
-7.8200	-4.3069	3.5131
-7.2626	-3.8836	3.3790

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-6.6494	-3.8001	2.8493
-5.9858	-4.3826	1.6032
-5.2950	-5.2990	0.0040
-4.6353	-6.1320	1.4967
-3.9683	-6.5588	2.5905
-3.2856	-6.6091	3.3235
-2.5779	-6.3819	3.8040
-1.8026	-5.9869	4.1843
-1.0242	-5.5097	4.4855
-0.2716	-5.0058	4.7342
0.4362	-4.5043	4.9405
1.0916	-4.0131	5.1047
-5.2722	11.0754	16.3476
-6.0928	8.9980	15.0908
-6.9253	6.9543	13.8796
-7.7332	4.9932	12.7264
-8.4993	3.1885	11.6878
-9.2339	1.6399	10.8738
-9.9830	0.4724	10.4554
-10.6755	-0.1773	10.4982
-11.2745	-0.2101	11.0644
-11.7673	0.3381	12.1055
-12.1616	1.2820	13.4435
-12.4896	1.9246	14.4142
-12.7130	1.1252	13.8382
-12.8193	-0.9448	11.8745
-12.8188	-3.1074	9.7114
-12.7439	-4.6237	8.1203
-12.5740	-5.6557	6.9183
-12.3108	-6.2949	6.0159
-11.9798	-6.4056	5.5742
-11.6308	-5.9255	5.7052
-11.2212	-5.3027	5.9185
-10.7327	-5.1765	5.5562
-10.1696	-5.1161	5.0535
-9.5563	-4.8089	4.7475
-8.8827	-4.8614	4.0213
-8.1555	-5.9916	2.1639

EGM	Insitu	Selish
-7.3949	-7.4853	0.0903
-6.6303	-8.7371	2.1068
-5.8474	-9.3756	3.5282
-5.0365	-9.4990	4.4626
-4.1874	-9.3111	5.1237
-3.2850	-8.9741	5.6891
-2.3610	-8.5871	6.2261
-1.4392	-8.2015	6.7623
-0.5347	-7.8375	7.3028
0.3507	-7.4934	7.8441
-7.3168	13.6218	20.9386
-8.1937	11.0753	19.2691
-9.0731	8.5405	17.6135
-9.9408	6.0509	15.9918
-10.7791	3.6718	14.4509
-11.5701	1.5045	13.0746
-12.2986	-0.3003	11.9982
-12.9568	-1.5244	11.4323
-13.5390	-1.8823	11.6567
-14.0391	-1.1660	12.8731
-14.4507	0.1527	14.6034
-14.7680	1.2250	15.9930
-14.9920	0.1509	15.1428
-15.1239	-1.7536	13.3703
-15.1643	-3.7165	11.4478
-15.1138	-5.2613	9.8524
-14.9770	-6.3279	8.6491
-14.7599	-6.9489	7.8110
-14.4691	-7.1086	7.3605
-14.1095	-6.8984	7.2111
-13.6765	-6.6642	7.0122
-13.1646	-6.5733	6.5914
-12.5711	-6.4354	6.1357
-11.8969	-6.1500	5.7469
-11.1516	-6.1594	4.9922
-10.3482	-7.9272	2.4210
-9.5007	-9.9614	0.4607
-8.6204	-11.5684	2.9480

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-7.7046	-12.2338	4.5291
-6.7478	-12.2950	5.5473
-5.7448	-12.0920	6.3471
-4.6943	-11.8130	7.1187
-3.6051	-11.5416	7.9365
-2.4884	-11.3071	8.8187
-1.3551	-11.1127	9.7576
-0.2149	-10.9460	10.7310
-9.3344	16.2158	25.5502
-10.2611	13.2175	23.4786
-11.1853	10.2078	21.3931
-12.1103	7.2023	19.3126
-13.0176	4.2498	17.2674
-13.8615	1.4372	15.2988
-14.5636	-1.0925	13.4711
-15.1824	-3.0922	12.0902
-15.7441	-4.1130	11.6311
-16.2496	-3.4964	12.7532
-16.6778	-2.2780	14.3998
-16.9828	-1.4634	15.5194
-17.2072	-2.0577	15.1495
-17.3669	-3.4431	13.9238
-17.4521	-4.9955	12.4566
-17.4293	-6.3275	11.1018
-17.3298	-7.3145	10.0154
-17.1629	-7.9709	9.1919
-16.9157	-8.2721	8.6436
-16.5527	-8.3132	8.2396
-16.1025	-8.4608	7.6417
-15.5726	-8.5885	6.9840
-14.9529	-8.6296	6.3233
-14.2193	-8.6564	5.5629
-13.4031	-9.0968	4.3063
-12.5235	-10.6814	1.8422
-11.5889	-12.7494	1.1605
-10.5975	-14.5287	3.9311
-9.5535	-14.9094	5.3559
-8.4551	-14.7855	6.3305

EGM	Insitu	Selish
-7.3022	-14.5813	7.2791
-6.1038	-14.4244	8.3206
-4.8495	-14.3368	9.4874
-3.5381	-14.3112	10.7731
-2.1755	-14.3325	12.1570
-0.7784	-14.3814	13.6031
-11.2049	18.8887	30.0937
-12.1737	15.4854	27.6592
-13.1300	12.0540	25.1839
-14.0981	8.5962	22.6943
-15.0602	5.1479	20.2081
-15.9611	1.7796	17.7407
-16.6215	-1.3935	15.2280
-17.2035	-4.1748	13.0288
-17.7463	-6.1246	11.6216
-18.2554	-5.6614	12.5940
-18.7081	-4.7477	13.9604
-18.9939	-4.2330	14.7610
-19.2231	-4.6090	14.6141
-19.4166	-5.6030	13.8135
-19.5597	-6.7697	12.7900
-19.5659	-7.8442	11.7216
-19.5116	-8.7213	10.7903
-19.4030	-9.4664	9.9366
-19.2155	-9.9986	9.2169
-18.8551	-10.3931	8.4621
-18.4018	-10.8120	7.5897
-17.8679	-11.1848	6.6831
-17.2409	-11.4526	5.7882
-16.4567	-11.6888	4.7678
-15.5845	-12.1720	3.4125
-14.6443	-13.3205	1.3237
-13.6401	-15.0437	1.4036
-12.5569	-16.9264	4.3695
-11.4078	-16.7973	5.3895
-10.1914	-16.6334	6.4420
-8.9084	-16.6377	7.7293
-7.5842	-16.7684	9.1842



## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-6.1869	-16.9775	10.7906
-4.7098	-17.2344	12.5247
-3.1522	-17.5206	14.3684
-1.5221	-17.8225	16.3004
-12.8290	21.6577	34.4868
-13.8141	17.9176	31.7317
-14.7992	14.1429	28.9421
-15.7872	10.3320	26.1192
-16.7495	6.5218	23.2713
-17.6222	2.7920	20.4142
-18.3128	-0.7166	17.5962
-18.8987	-3.7552	15.1435
-19.4294	-5.8713	13.5581
-19.9186	-6.3988	13.5198
-20.3468	-6.3191	14.0277
-20.6657	-6.3599	14.3058
-20.9262	-6.8854	14.0408
-21.1498	-7.7929	13.3570
-21.3239	-8.7414	12.5824
-21.4063	-9.6649	11.7415
-21.4227	-10.5273	10.8954
-21.3710	-11.3475	10.0235
-21.2197	-12.0947	9.1250
-20.9162	-12.7994	8.1168
-20.4937	-13.5039	6.9899
-19.9665	-14.1419	5.8247
-19.3250	-14.6046	4.7204
-18.5420	-14.8764	3.6656
-17.6527	-15.0042	2.6485
-16.6789	-15.2745	1.4044
-15.6270	-15.7571	0.1301
-14.4918	-16.3787	1.8869
-13.2789	-17.0205	3.7416
-11.9894	-17.6674	5.6780
-10.6255	-18.3088	7.6833
-9.1963	-18.9369	9.7406
-7.6890	-19.5483	11.8593
-6.1017	-20.1438	14.0421

EGM	Insitu	Selish
-4.4448	-20.7267	16.2819
-2.7460	-21.3027	18.5567
-14.1839	24.5224	38.7064
-15.1727	20.5207	35.6933
-16.1682	16.4873	32.6556
-17.1599	12.4246	29.5845
-18.1124	8.3766	26.4890
-18.9661	4.4348	23.4009
-19.6628	0.7521	20.4149
-20.2476	-2.4373	17.8103
-20.7668	-4.8228	15.9440
-21.2394	-6.1783	15.0611
-21.6574	-6.9613	14.6962
-22.0023	-7.6627	14.3396
-22.2988	-8.5688	13.7300
-22.5624	-9.6673	12.8951
-22.7859	-10.5766	12.2093
-22.9480	-11.4945	11.4535
-23.0478	-12.4273	10.6205
-23.0709	-13.3757	9.6952
-22.9826	-14.3328	8.6498
-22.7437	-15.3122	7.4314
-22.3693	-16.2977	6.0717
-21.8720	-17.2111	4.6608
-21.2470	-17.8634	3.3835
-20.4833	-18.1565	2.3268
-19.6030	-17.8094	1.7937
-18.6259	-17.2044	1.4215
-17.5606	-16.4965	1.0641
-16.4077	-15.9084	0.4993
-15.1699	-17.3354	2.1655
-13.8478	-18.8028	4.9550
-12.4411	-20.0847	7.6435
-10.9503	-21.2083	10.2580
-9.3755	-22.2173	12.8419
-7.7232	-23.1450	15.4217
-6.0112	-24.0176	18.0065
-4.2705	-24.8606	20.5902

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-15.2724	27.4664	42.7388
-16.2485	23.2730	39.5215
-17.2380	19.0556	36.2936
-18.2222	14.8225	33.0447
-19.1657	10.6223	29.7880
-20.0108	6.5477	26.5585
-20.6867	2.7393	23.4260
-21.2541	-0.6186	20.6355
-21.7597	-3.3369	18.4228
-22.2245	-5.3420	16.8825
-22.6473	-6.8578	15.7895
-23.0135	-8.1768	14.8367
-23.3473	-9.4892	13.8580
-23.6611	-10.8048	12.8564
-23.9500	-11.9787	11.9714
-24.1968	-13.1053	11.0915
-24.3908	-14.2288	10.1621
-24.5095	-15.3678	9.1417
-24.5119	-16.5358	7.9761
-24.3441	-17.7566	6.5875
-24.0318	-18.9678	5.0641
-23.5889	-20.0810	3.5079
-23.0116	-20.9607	2.0509
-22.2859	-21.4368	0.8491
-21.4379	-20.7730	0.6649
-20.4870	-19.8198	0.6672
-19.4423	-18.9120	0.5303
-18.3054	-18.5081	0.2027
-17.0794	-19.5025	2.4231
-15.7638	-20.9639	5.2001
-14.3549	-22.4597	8.1049
-12.8456	-23.8615	11.0158
-11.2465	-25.1501	13.9036
-9.5685	-26.3400	16.7715
-7.8286	-27.4561	19.6276
-6.0546	-28.5302	22.4755
-16.1163	30.4626	46.5789
-17.0588	26.1347	43.1935

EGM	Insitu	Selish
-18.0233	21.7909	39.8142
-18.9815	17.4437	36.4252
-19.9049	13.1408	33.0458
-20.7457	8.9661	29.7118
-21.3783	5.0360	26.4143
-21.9211	1.4853	23.4064
-22.4150	-1.5705	20.8445
-22.8796	-4.1029	18.7767
-23.3190	-6.2243	17.0947
-23.7064	-8.0996	15.6068
-24.0822	-9.8488	14.2334
-24.4560	-11.5004	12.9556
-24.8223	-13.0234	11.7990
-25.1598	-14.4640	10.6958
-25.4564	-15.8629	9.5935
-25.6850	-17.2436	8.4414
-25.8020	-18.6238	7.1782
-25.7129	-20.0634	5.6495
-25.4801	-21.4400	4.0401
-25.1157	-22.6524	2.4633
-24.6159	-23.5616	1.0543
-23.9485	-23.9672	0.0187
-23.1582	-23.5689	0.4107
-22.2629	-22.8325	0.5696
-21.2710	-22.1705	0.8995
-20.1827	-22.0125	1.8298
-19.0029	-22.7494	3.7465
-17.7304	-24.0218	6.2913
-16.3604	-25.4941	9.1337
-14.8747	-26.9860	12.1113
-13.2974	-28.4227	15.1253
-11.6404	-29.7844	18.1440
-9.9140	-31.0790	21.1650
-8.1318	-32.3317	24.1999
-16.7532	33.4807	50.2339
-17.6488	29.0606	46.7094
-18.5552	24.6305	43.1857
-19.4519	20.2039	39.6558

## Lanjutan Lampiran 4

EGM	Insitu	Selish
-22.7103	4.4504	27.1608
-23.1646	0.7227	23.8873
-23.6299	-2.7749	20.8551
-24.1479	-6.0590	18.0889
-24.7081	-9.1496	15.5584
-25.3014	-12.0627	13.2387
-25.9334	-14.8108	11.1226
-26.6070	-17.4067	9.2003
-27.2667	-19.8624	7.4043
-27.8511	-22.1836	5.6675
-28.3118	-24.3665	3.9453
-28.6177	-26.3897	2.2280
-28.7551	-28.2068	0.5483
-28.7244	-29.7594	1.0350
-28.5353	-30.9935	2.4581
-28.2032	-31.8833	3.6801
-27.7384	-32.4655	4.7271
-27.1543	-32.8660	5.7117
-26.4677	-33.2589	6.7912
-25.6929	-33.8095	8.1166
-24.8265	-34.6195	9.7930
-23.8599	-35.6968	11.8370
-22.7834	-36.9865	14.2031
-21.5951	-38.4143	16.8192
-20.3225	-39.9136	19.5910
-18.9988	-41.4366	22.4378
-17.6525	-42.9567	25.3042
-16.3025	-44.4667	28.1642
-17.6922	42.4474	60.1396
-18.3675	37.8845	56.2521
-19.0574	33.3087	52.3661
-19.7176	28.7219	48.4395
-20.3262	24.1390	44.4653
-20.8961	19.5877	40.4839
-21.4720	15.1047	36.5767
-22.0038	10.7297	32.7336
-22.4750	6.4982	28.9732
-22.9083	2.4350	25.3433

EGM	Insitu	Selish
-23.3663	-1.4474	21.9189
-23.9410	-5.1464	18.7946
-24.5738	-8.6642	15.9096
-25.2390	-12.0039	13.2351
-25.9564	-15.1686	10.7878
-26.7757	-18.1617	8.6141
-27.5936	-20.9851	6.6086
-28.3292	-23.6361	4.6931
-28.9331	-26.1039	2.8292
-29.3824	-28.3666	1.0158
-29.6559	-30.3902	0.7343
-29.7514	-32.1376	2.3863
-29.6844	-33.5820	3.8976
-29.4841	-34.7238	5.2396
-29.1501	-35.6078	6.4577
-28.6927	-36.3305	7.6378
-28.1344	-37.0171	8.8828
-27.5031	-37.7872	10.2841
-26.7862	-38.7214	11.9352
-25.9703	-39.8445	13.8742
-25.0401	-41.1363	16.0962
-23.9793	-42.5536	18.5743
-22.8358	-44.0490	21.2132
-21.6525	-45.5826	23.9301
-20.4598	-47.1272	26.6675
-19.2724	-48.6702	29.3978
-17.8333	45.3864	63.2196
-18.4147	40.7958	59.2105
-19.0463	36.1853	55.2317
-19.6332	31.5509	51.1841
-20.1507	26.8982	47.0488
-20.6296	22.2432	42.8728
-21.2039	17.6104	38.8142
-21.7354	13.0293	34.7647
-22.1895	8.5307	30.7202
-22.5869	4.1427	26.7296
-23.0089	-0.1115	22.8974
-23.6659	-4.2137	19.4522

**Lanjutan Lampiran 4**

EGM	Insitu	Selish
-24.3805	-8.1503	16.2302
-25.1089	-11.9113	13.1976
-25.8875	-15.4889	10.3986
-26.8833	-18.8764	8.0068
-27.8776	-22.0664	5.8111
-28.7727	-25.0484	3.7243
-29.5222	-27.8072	1.7150
-30.1201	-30.3225	0.2024
-30.5313	-32.5714	2.0401
-30.7520	-34.5351	3.7831
-30.8030	-36.2084	5.4054
-30.7425	-37.6085	6.8660

EGM	Insitu	Selish
-30.5436	-38.7821	8.2386
-30.2138	-39.8033	9.5896
-29.7815	-40.7614	10.9799
-29.3062	-41.7421	12.4358
-28.7501	-42.8100	14.0599
-28.0979	-43.9989	15.9010
-27.3305	-45.3122	17.9817
-26.3916	-46.7317	20.3401
-25.3752	-48.2281	22.8529
-24.3328	-49.7706	25.4378
-23.2963	-51.3340	28.0377
-22.2785	-52.9024	30.6240

## Lampiran 5. Form Pengukuran Gayaberat Relatif

### Pengambilan Data Metode Gayaberat

Surabaya,

①

No	Waktu		Nama Titik	Koordinat		Elevasi	Reading Counter			Koreksi Medan			Keterangan	
	Tanggal	Jam		Eastings	Northing		1	2	3	N	E	S	W	
1	17 02 17	23 04 30	Gayabari					1719,050						T. alat : 0,262
		23 06 30						1719,050						
		23 08 30	Gayabari					1719,050						
2	17 02 17	23 28 57						1719,255						T. titik : 0,200
		23 30 57	Gayabari					1719,300						T. alat : 0,247
		23 32 57						1719,290						
3	18 02 17	00 04 30						1726,005						T. titik : 0,660
		00 06 30	Gayabari					1726,005						T. alat : 0,302
		00 08 30						1726,005						
4	18 02 17	02 05 00	Gayabari					1715,572						T. titik : 0,270
		02 07 00	Gayabari					1715,572						T. alat : 0,270
		02 09 00	Gayabari					1715,572						
5	18 02 17	02 25 00	Gayabari					1726,140						T. alat : 0,272
		02 27 00						1726,140						T. titik : 0,306
		02 29 00						1726,140						
6	18 02 17	02 54 15	Gayabari					1714,222						T. alat : 0,257
		02 56 15						1714,222						
		02 58 15						1714,222						

# Lanjutan Lampiran 5

Pengambilan Data Metode Gayaberat

No	Waktu		Nama Titik	Koordinat		Elevasi	Reading Counter			Koreksi Medan			Keterangan
	Tanggal	Jam		Easting	Northing		1	2	3	N	E	S	W
7	18-02-17	04:39:00	BM 55					1711,520					Talat: 0,290
		04:40:00						1711,520					T. patok: 0,290
		04:42:00						1711,520					
8	18-02-17	04:07:15	BM 29					1714,141					Talat: 0,265
		04:09:15						1714,141					T. patok: 0,455
		04:11:15						1714,141					
9	18-02-17	04:55:35	BM 24					1711,088					Talat: 0,247
		04:57:35						1711,088					T. patok: 0,341
		04:59:35						1711,088					
10	18-02-17	05:18:20	BM 23					1714,160					Talat: 0,252
		05:20:20						1714,160					T. patok: 0,278
		05:22:20						1714,160					
11	18-02-17	06:17:21	BM 21					1719,411					Talat: 0,260
		06:19:21						1719,411					
		06:21:21						1719,411					
12	18-02-17	07:57:58	SBY 015					1724,541					Talat: 0,241
		07:59:58						1724,541					
		08:01:58						1724,541					



## Lanjutan Lampiran 5

Pengambilan Data Metode Gayaberat

No	Waktu		Nama Titik	Koordinat		Elevasi	Reading Counter			Koreksi Medan			Keterangan	
	Tanggal	Jam		Eastng	Northng		1	2	3	N	E	S		W
13	18 02 17	08:32:28						1716,635						T. alat : 0,257 T. titik : 0,335
		08:34:38	BM 8					1716,635						
		08:36:38						1716,635						
14	18 02 17	09:12:20	LB 8					1718,409						T. alat : 0,267 T. titik : 0,233
		09:14:20						1718,371						
		09:16:20						1718,409						
15	18 02 17	10:10:45						1716,325						T. alat : 0,265 T. titik : 0,450
		10:12:45	BM ITS 01					1716,325						
		10:14:45						1716,325						
16	18 02 17	10:54:50	BM Bawen					1718,352						T. alat : 0,273 T. titik : 0,225
		10:52:50	21					1718,352						
		10:52:50						1718,352						
17	18 02 17	12:22:55						1707,088						T. alat : 0,255 T. titik : 0,154
		12:24:55	BM 19					1707,088						
		12:26:55						1705,151						
								1707,129						
								1707,065						
								1707,347						

## Lanjutan Lampiran 5

Pengambilan Data Metode Gayabernat

No	Waktu		Nama Titik	Koordinat		Elevasi	Reading Counter			Koreksi Medan			Keterangan
	Tanggal	Jam		Easting	Northing		1	2	3	N	E	S	W
18	18 02 17	13:52:45	LB 01					1709,490					T. alat : 0,267
		13:54:45						1708,490					T. patok : 0,380
		13:56:45						1709,545					
19	18 02 17	15:16:20	SB 02					1705,715					T. alat : 0,252
		15:08:20						1705,715					T. patok : 0,215
		15:10:20						1704,655					
20	18 02 17	16:35:42	GB 003					1718,910					T. alat : 0,241
		16:37:42						1718,910					
		16:39:42						1718,910					



## Lampiran 6. Dokumentasi Pengukuran Gravimeter

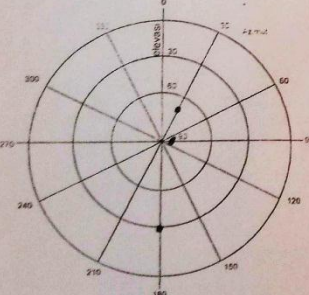
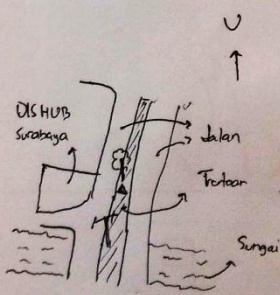


Pengukuran Base



Pengukuran Titik BM

## Lampiran 7. Contoh Form Pengukuran GPS

FORMULIR PENGAMATAN GPS			
Nama Titik	: BM 01	Hari/Tanggal	: Sabtu / 11 Maret 2017
Lokasi	: Terminal Jombang	Pelaksana	1. Rizki Komadhon 2. Ahmad Fauzudin 3. Brian Banto
Antena		Receiver	
Tipe		Tipe	: Topcon Hiper 52
No. Seri		No. Seri	: 106A - 16240
Pengamatan			
Nama File		Session #ID	: 2
DD/MM/YY (UTC)		Day Of Year (DoY)	:
Elevation Mask		Epoch Interval	:
Awal Pengamatan	22.15 / 11/3	Akhir Pengamatan	: 10.18 / 11/3
Koordinat Pendekatan			
Lintang (North - South)		Bujur (East / West)	
		Tinggi Ellipsoida (m)	
Tinggi Antena			
Tinggi Miring		Tinggi Tegak	
Sebelum Pengamatan		Setelah Pengamatan	
1.	1.307 (m)	1.	1.304 (m)
2.	1.305 (m)	2.	1.309 (m)
3.	1.306 (m)	3.	1.310 (m)
Sketsa Detail Lokasi Pengamatan			
			



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

Laboratorium Geodesi dan Surveying  
Departemen Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

## **FOTO TITIK KONTROL GEODETIK**

Nama Titik : BM-01  
Tanggal : 11 Maret 2017

**Arah Pandang Utara**



**Arah Pandang Timur**



**Arah Pandang Selatan**



**Arah Pandang Barat**

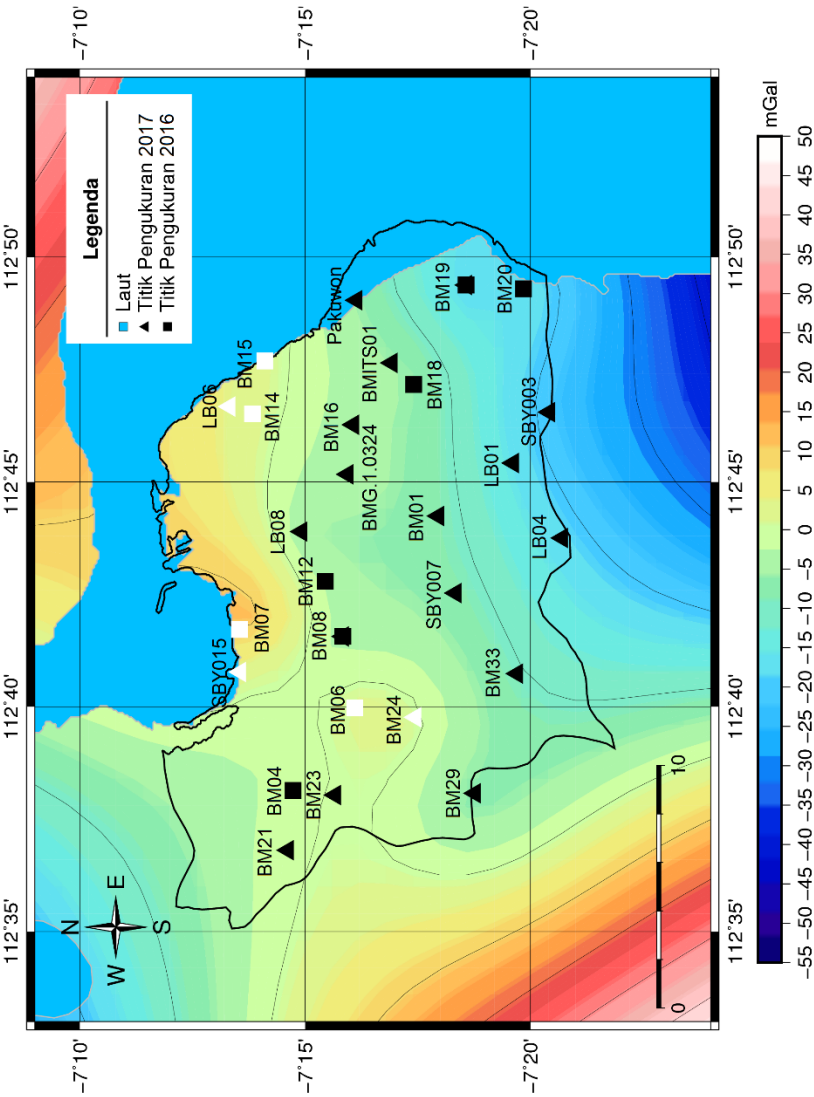


## Lampiran 8. Hasil Pengolahan GPS

Name	GPS Obs Quality				Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
	dN (m)	dE (m)	dHt (m)			
Blts-BM008	1991.204	-11195.516	-7.721		0.005	0.011
Blts-BM016	1570.329	-2534.130	-0.548		0.007	0.004
Blts-BM019	-3049.116	3185.594	-2.200		0.004	0.006
Blts-BM021	4234.976	-19947.385	-28.221		0.007	0.012
Blts-BM023	2308.663	-17688.028	-8.601		0.013	0.021
Blts-BM024	-972.369	-14535.452	6.517		0.010	0.008
Blts-BM029	-3409.678	-17610.403	-20.014		0.023	0.034
Blts-BM033	-5137.156	-12717.804	-8.112		0.005	0.008
Blts-BM_PAK	1438.568	2564.600	-1.670		0.005	0.009
Blts-BM_WON	-1909.015	-6266.510	1.182		0.002	0.004
Blts-BSBY	7844.407	-7788.847	-9.412		0.004	0.007
Blts-LB001	-4968.592	-4096.804	-2.778		0.006	0.009
Blts-LB003	283.437	-391.103	-0.461		0.001	0.002
Blts-LB004	-6974.007	-7164.223	-5.389		0.008	0.013
Blts-LB006	6634.951	-1789.578	-4.192		0.004	0.008
Blts-LB008	3687.706	-6907.089	-5.096		0.005	0.008
Blts-SBY003	-6445.796	-2015.250	-4.292		0.008	0.011
Blts-SBY007	-2618.092	-9421.583	-3.789		0.008	0.013
Blts-SBY015	6193.334	-12652.397	-16.711		0.007	0.008

BM008	7°15'50.26919"S	112°41'33.95639"E	39.149
BM016	7°16'04.00820"S	112°46'16.30886"E	36.882
BM019	7°18'34.37850"S	112°49'22.77775"E	36.062
BM021	7°14'37.14136"S	112°36'48.68219"E	41.117
BM023	7°15'39.87433"S	112°38'02.31101"E	53.077
BM024	7°17'26.71085"S	112°39'45.05086"E	59.886
BM029	7°18'46.01754"S	112°38'04.77468"E	41.946
BM033	7°19'42.29837"S	112°40'44.27211"E	43.382
BM_PAK	7°16'08.29723"S	112°49'02.52436"E	35.742
BM_WON	7°17'57.25656"S	112°44'14.62162"E	41.280
BSBY	7°12'39.75718"S	112°43'25.04023"E	36.932
LB001	7°19'36.85873"S	112°45'25.34919"E	37.218
LB003	7°16'45.90102"S	112°47'26.16982"E	36.290
LB004	7°20'42.12724"S	112°43'45.33080"E	39.204
LB006	7°13'19.14608"S	112°46'40.58666"E	36.265
LB008	7°14'55.07012"S	112°43'53.76274"E	36.449
SBY003	7°20'24.94856"S	112°46'33.21344"E	36.038
SBY007	7°18'20.32218"S	112°42'31.75670"E	40.443
SBY015	7°13'33.47041"S	112°40'46.49768"E	35.596

Lampiran 8. Peta Anomali *Free Air* Kota Surabaya



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kebumen, 5 Januari 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Mersudi Siwi, SDN Madurejo, SMP Negeri 1 Kuwarasan dan SMA Negeri 1 Kebumen, Kabupaten Kebumen. Setelah lulus dari SMA memilih melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program SNMPTN Undangan dan diterima di Departemen

Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013 dengan NRP 3513100036. Di Teknik Geomatika Penulis memilih bidang kajian ilmu Geodinamika dan Lingkungan. Sejak SMA Penulis aktif di organisasi Kerohanian Islam hingga di perkuliahan kemudian aktif di Lembaga Dakwah Jurusan Teknik Geomatika yaitu *Geomatics Islamics Study* serta Lembaga Dakwah Kampus Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI-ITS). Selain itu, Penulis juga aktif di bidang Keilmiahan yaitu dengan beberapa kali didanai Program Kreatifitas Mahasiswa hingga PIMNAS, Juara 1 di LOGIN 2014, mengikuti beberapa konferensi nasional maupun internasional serta menjadi Trainer Keilmiahan ITS periode 2016-2017.